Geomorphologische Studien in den Ampezzaner Dolomiten.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

vorgelegt

von

Franz Schulz

aus Berlin.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Tag der mündlichen Prüfung: 10. März 1905.

BAMBERG

Druck der Handels-Druckerei und Verlagshandlung

(M. R. SCHULZ)

120

MEINEN LIEBEN ELTERN!

Inhalt.

	Seite
Einleitung	7
Hoch- und Mittelgebirgsformen in den Alpen	9
Das Kar	12
Die Kare der „Hohen Gaisl"	16
Glacial-Erosion in den Karen	23
Verschiedene Ansichten über die Karbildung	26
Entstehung der Kare durch Zusammenwirken von Glacialerosion und Wandverwitterung	30
Die Eiszeit als Erzeugerin der Hochgebirgsform	40
Topographische Karten des Hochgebirgs	45
Morphologische Betrachtungen in den Ampezzaner Dolomiten	47
Modell der „Hohen Gaisl"	52
Die wichtigste Literatur über das Karproblem	55

EINLEITUNG.

Die Erhebungen auf der Erdoberfläche zeigen hinsichtlich ihres Entstehens und ihrer äusseren Erscheinung eine so ausserordentliche Mannigfaltigkeit, dass eine alles umfassende Systematik der Berge und Gebirge bis jetzt nicht aufgestellt werden konnte. An Versuchen hiezu hat es seit Varenius[1] bis zur Gegenwart[2] nicht gefehlt. Dieselben betonen aber meist zu einseitig entweder die morphologischen oder die genetischen Verhältnisse, ja man ist in dem Bestreben nach einer Klassifikation so weit gegangen, dass man die Unebenheiten des festen Landes unter Zugrundelegung gewisser Normalabstufungen lediglich nach ihrer absoluten Höhe einteilte und etwa zwischen Hügelland, Mittel- und Hochgebirge unterschied. Eine derartige Einteilung führt naturgemäss häufig zu Unzuträglichkeiten; es gibt eine Reihe von „Hochgebirgen", die tiefer liegen, als die ihnen zugedachte Grenzlinie, beispielsweise die wilden Felseninseln der Fär-Oer, die fast unmittelbar über dem Meeresspiegel ausgeprägten Hochgebirgscharakter besitzen; es gibt ebenso „Mittelgebirge" in ausserordentlicher Höhe, wie die Rocky Mountains der Union, wo der Pikes Peak (Colorado), ein Berg von Montblanc-Höhe, trotz seines zur Wandbildung nei-

1 Bernhard Varenius: „Geographia generalis". Cap. VIII. 1650.

2 Die jüngste Gebirgsklassifizierung stellte auf James Geikie: „Mountains" in Scotish Geog. Mat. XVII, 1901, p. 449 ff. und ib. XVIII, 1902, p. 76 ff.

genden Granits absolut keine Hochgebirgsformen aufweist und hoch zu Ross bestiegen werden kann.[3]

Es soll in den folgenden Zeilen gezeigt werden, dass auf die genaue Einhaltung solcher Klassifizierungen nicht viel ankommt, dass es vielmehr vorzuziehen ist, unter den Bezeichnungen Hoch- und Mittelgebirge nur die betreffenden Gebirgs-Formen zu verstehen, nicht schlechthin ihre Höhen, dass bei dieser Unterscheidung das morphologische Moment das ausschlaggebende ist und die Verschiedenheit der Erhebungsverhältnisse in zweiter Linie steht.

---

[3] Vergl. F. Frech: „Ueber das Antlitz der Tiroler Zentralalpen". Zeitschrift des D. Oe. Alpenvereins. XXXIV. Innsbruck 1903. p. 9.

Taf. I. Die Hohe Gaisl, 3148 m, mit Ost- und Nordost-Kar, von der Plätzwiese (2000 m).

HOCH- UND MITTELGEBIRGS-FORMEN IN DEN ALPEN.

Das am Besten bekannte und am vielseitigsten durchforschte Gebirge mit bedeutenden Erhebungen sind die Alpen. Schon aus der Ferne erscheinen sie dem Beschauer als etwas Ungewöhnliches, als ein neues Element unter den Formen der Erdoberfläche. Eine langgestreckte, erst weit im Osten und Westen entschwindende vielgezackte Linie hebt sich besonders am Abend vom Horizont ab. In fast endloser Reihe übersieht man von günstigen Plätzen auf der bayrischen Hochebene, wie vom Peissenberg[1] aus, vom Dachstein bis zum Säntis die Pyramiden und Türme, einzelnen Massive und Hörner, Steilabfälle und Pässe, wie eine das Land absperrende Mauer. Ein ganz ähnliches Bild bietet sich dem, der vom Dom zu Mailand oder der Lagunenstadt am Adriatischen Meer den Blick nach Norden richtet. Diese wilde Zerrissenheit der Konturen ist charakteristisch für die Hochgebirgsform. Indessen erkennt man bald, je mehr man sich den Bergen nähert, dass das Gebirge durchaus nicht vollständig aus derartigen Formen aufgebaut ist. Man findet schon bei Tegernsee oder Immenstadt eine ganze Reihe niedrigerer Berge mit sanften, abgerun-

1 Der „Hohe Peissenberg", eine Molasse-Erhebung südwestlich vom Ammersee, mit berühmter Aussicht, besonders bei föhnigem Wetter. Das Alpenpanorama hat hier eine Ausdehnung von 300 km.

deten Konturen den weiter zurückliegenden Hochbergen vorgelagert, und weiterhin, dass letztere selbst in ihren unteren Partien überall die sanften Waldgehänge und ruhigen Mittelgebirgsformen aufweisen, die man im Böhmerwald und Harz gewohnt ist. Es ist die Art der Wasserscheiden, die für das äussere Gepräge des Gebirges ausschlaggebend ist: konvex und allseits abgerundet ist der Bergquerschnitt bei Mittel-, nach oben zugeschärft und kantig bei Hochgebirgsformen. Wo die letzteren auftreten, sind sie auf erstere aufgebaut, im Innern der Alpen ebenso wie an ihrem Rande. Ein prächtiges Beispiel hiefür bildet das Pustertal auf seinen beiden Seiten: hoch über einem vorgelagerten Zuge mildgeformter runder Berge, die ihre sanften Konturen bis 2300 m Höhe bewahren,[2] erheben sich nördlich im Hintergrunde die zackigen Granitgipfel der Rieserferner, während aus dem Süden eine Bergwelt herübergrüsst, deren bizarre Türme, Grate und Klippen die kühnsten Phantasiegebilde übertreffen: die Pragser- und Sextener-Dolomiten.

Wenn man nach der Ursache forscht, wie eine derartige Formenverschiedenheit zustande gekommen sei, so wird man wohl in erster Linie an das Gesteinsmaterial denken. Dessen Verschiedenartigkeit in den einzelnen Gebieten der Alpen ist ungemein gross; sie kann auf das landschaftliche Bild nicht ohne Einfluss geblieben sein. Möchte man da annehmen, dass es das Walten einheitlicher Formbildungsgesetze gewesen ist, das so mannigfaltige Züge im Antlitz der Berge geprägt hat? Zunächst nicht. Dennoch ist es möglich, in allen Gebirgsgruppen gleiche, ganz bestimmte morphologische Verhältnisse nachzuweisen. Zwar braucht dies bei den Mittelgebirgen kaum besonders betont zu werden. Es erscheint fast selbstverständlich, dass Granit-, Schiefer-, Kalk- und Sandsteinberge bei Er-

---

2 Selbst der „Kronplatz", 2273 m, und der „Helm", 2433 m, haben, die oberste Gipfelspitze ausgenommen, nur Mittelgebirgsform.

hebungen, wie sie beispielsweise der Harz, Odenwald oder Böhmerwald haben, alle die gleichen, breithingelagerten und sanftrunden Formen besitzen. Frech[3] hat an einer Reihe von Beispielen, besonders in Kärnten nachgewiesen, dass bis 1600—1700 m Höhe alle Berge dieselbe Form besitzen, aus welchem Gestein sie auch bestehen. Beim Hochgebirge sind die Verhältnisse aber augenscheinlich andere. An diesen bizarren Türmen, Zacken, Graten, Kämmen und Pyramiden lässt sich ein gemeinsames Formelement nicht ohne weiteres erkennen. Erst bei genauerem Zusehen wird man sich überzeugen können, dass es auch im Hochgebirge ein herrschendes Formprinzip gibt, das allenthalben auftritt und als das ursprüngliche anzusehen ist, obgleich es oft in seiner Ursprünglichkeit nicht mehr vorhanden ist. Wenn man es erkennen will, muss man sich daran gewöhnen, jenen Faktor, der alles Ursprüngliche in der Natur, insbesondere im Hochgebirge in so gewaltiger Weise umgestaltet, die Verwitterung nämlich, als einen sekundären aufzufassen, d. h. in der Formenbetrachtung bis zu jenem Zeitpunkt zurückzugehen, wo überhaupt mechanische und chemische Verwitterung ihre Wirksamkeit zuerst wie in der Gegenwart entfalten konnten. Das war der Fall, als die Schneegrenze sich wieder in grössere Höhen zurückgezogen hatte, für grosse Teile der Alpen also nach dem Ende der Eiszeit. Man muss sich das Bild rekonstruieren, wie das Gebirge damals ausgesehen hat.

Welches ist nun die massgebende primäre Form des Hochgebirges und wie ist ihre Entstehung zu denken? Diese Fragen sollen zunächst eingehender erörtert werden.

---

3 F. Frech: „Die Gebirgsformen im südwestlichen Kärnten und ihre Entstehung". Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde. XXVII. Berlin 1892. p. 391.

DAS KAR.

In jenem Höhengürtel der Alpen, der einst über die Schneegrenze emporragte, gewahrt man überall, wo zugeschärfte Grate und Kämme vorhanden sind, unmittelbar unterhalb derselben gelegen nischenförmige Einbuchtungen, welche in das Bergmassiv eingesenkt erscheinen, nur nach vorne geöffnet sind und nicht selten wie das Innere eines Armsessels aussehen. Der Rücklehne des Sessels entspricht zumeist eine steile, bogenförmige Wand, die direkt hinaufreicht bis zum höchsten Gipfelgrat, während die Seitenlehnen durch Bergrippen, gleichfalls mit Steilwandungen, gebildet sind, deren Höhe aber von der Rückwand gegen die offene Seite zu abnimmt. Diese Nischen heissen K a r e.[1] Sie sind, als man in den Alpen anfing, solchen eigenartigen Hohlformen in der Geomorphologie einen Platz anzuweisen, rasch auch in den meisten Gebirgen der Erde bekannt geworden, zum Teil mit anderen Namen, z. B. Kesselböden, Zirken.[2] In Norwegen heissen sie Botner, Botnir (Singul. Botn), in Frankreich Cirques, in den Pyrennäen Oules, in England Cooms, Coums, Couries. Im einzelnen zeigen sie

---

1 Auch Kahr, Kaar, Kohr. Ueber die Schreibweise vergl. die Angaben H. W a l l m a n n's in der Zeitschrift des Deutschen Alpenvereins, I, 1869/70, p. 305—309; ferner E. R i c h t e r: „Geomorpholog. Untersuchungen in den Hochalpen" 132. Erg.-Heft zu Petermann's Mitteilungen, Gotha 1900.

2 Die Definition von „Cirkus" ist unsicher; selbst das Wort „Kar" ist mitunter für andere Formen gebräuchlich (vergl. Penck,

grosse Abweichungen unter einander; von ihrer allgemeinsten Form kann man sich eine annähernde Vorstellung machen, wenn man aus plastischem Material ein Calotte herstellt, diese vom Zenith aus in eine Anzahl Teile zerlegt, etwa sechs, und in solche Sextanten Vertiefungen eindrückt, wie dies Figur 1 zeigt.

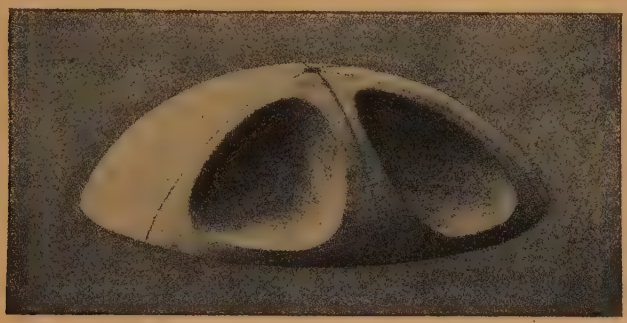


Fig. 1. Allgemein-schematische Form der Kar-Nischen.

Meist ist der Boden der Kare flach, ja zuweilen so ausgerundet, dass sich Karwannen mit kleinen Seen bilden; doch trifft man nicht selten Kare mit Steilböden. Auch das Verhältnis zwischen Länge und Breite einerseits und Tiefe der Nischen andererseits ist durchaus nicht als konstant anzusehen.

Typisch für die Kare ist aber der Umstand, dass sie nie mit gleichsinnigem Gefälle in das am Fuss des Berges liegende Tal übergehen, sondern an ihrem Ausgang einen Steilabsatz haben. Eine solche Lagerung mitten im Gehänge, in Verbindung damit, dass man die meisten Kare hoch über der Sohle des benach-

---

Morph. d. Erdoberfläche. I. p. 324). Vermehrt wird diese Unsicherheit durch das Vorkommen karähnlicher Formen, die mit den eigentlichen Karen nichts zu tun haben. So unterscheidet Rothpletz („Geologie des Karwendelgebirges", Zeitschrift des D. Oe. Alpenvereins XIX, München 1888) Felsenkare, Altkare und Sammelkare, und Blumer („Zur Entstehung der glarnerischen Alpenseen". Eclog. geol. Helvetiae, vol. VII, 3. Lausanne 1902) beschreibt Seen in Kahren und Pseudokahren. In der vorliegenden Arbeit ist nur von echten Felsenkaren die Rede.

barten Tales antrifft, mit dem sie gar keinen Zusammenhang durch Wasserläufe besitzen, ruft den Eindruck hervor, als ob diese Hohlformen mittels eines riesigen Werkzeuges regelrecht aus dem ursprünglichen Bergmassiv herausgearbeitet worden wären. Ein solches Werkzeug ist nun in der Tat vorhanden gewesen und nachzuweisen. Allenthalben am Boden der Kare wie auch an den Wänden findet man bei aufmerksamen Zusehen Schliffspuren, abgerundete Hökker mit Schrammen, Moränen von mehr oder minder ausgeprägtem Charakter, in vielen Karen kleine Seen mit polierten Uferpartien und gar nicht selten im Hintergrunde zwischen den Steilwänden geschützt kleine Gletscher. Derjenige, welcher von einer intensiven, hobelartigen Wirkung der Gletscher überzeugt ist, wird damit sofort zu folgender Erklärung der Karform hinneigen: diese Nischen, Kessel, Zirken, Amphitheater usw. sind im Laufe sehr langer Zeiträume durch Gletscher aus dem Gestein herausgearbeitet worden.

Nun ist bekanntlich kaum eine Frage so viel umstritten worden, wie die über die Glacialerosion, und eine grosse Reihe namhafter Geographen und Geologen haben bis zum heutigen Tag sich über die dynamischen Wirkungen der Gletscher nicht einigen können. Anfangs englische und norwegische Gelehrte, dann Heim,[3] Penck,[4] v. Böhm,[5] Richter,[6] Geistbeck[7] und viele andere Forscher haben zum

3 A. Heim: „Handbuch der Gletscherkunde". Stuttgart 1885.

4 A. Penck in vielen Abhandlungen, zuerst hauptsächlich in der gekrönten Preisschrift „Die Vergletscherung der deutschen Alpen etc." Leipzig 1882.

5 A. von Böhm: „Die alten Gletscher der Enns u. Steyr". Jahrb. der k. k. geol. Reichsanst. XXXV. 3. Wien 1885.

6 E. Richter: „Kahre und Hochseen". Verh. der Ges. deutscher Naturforscher und Aerzte. 66. Versammlung II. Wien 1894; ferner: „Geomorphol. Untersuchungen in den Hochalpen". 132. Erg.-Heft zu Petermann's Mitteilungen. Gotha 1900.

7 A. Geistbeck: „Die Seen der deutschen Alpen". Mitteilungen des Vereins für Erdkunde. Leipzig 1884.

Teil in umfangreicher Weise und wiederholt ihre Ansichten hierüber festgelegt, so dass es hier überflüssig erscheint, auf all die Für und Wider des näheren einzugehen.[8] Immerhin sei erwähnt, dass die Zahl derer, die dem Gletscher nicht nur keine zerstörende, sondern sogar eine konservierende Wirkung zuschreiben, mehr und mehr abgenommen hat, und dass in neuerer Zeit die Meinungsverschiedenheit sich hauptsächlich auf den Grad der Erosionsfähigkeit der Eisströme beschränkt.[9] Gibt man aber der Gletschererosion nur einen Millimeter pro Jahr zu, so ist bei den gewaltigen in Frage kommenden Zeiträumen auch die mächtigste Wirkung zugegeben.

Da die Glacialerosion vor allem abhängig erscheint von der Mächtigkeit des Gletschers und der Geschwindigkeit seiner Bewegung, weiterhin von der Häufigkeit der Temperaturschwankungen um den Nullpunkt herum, so begegnet man bei dem Versuche, die Karform durch Gletscherwirkung zu erklären, einer nicht geringen Schwierigkeit. Ueberall, wo wir heutzutage in Karen noch Gletscher antreffen, sehen wir, dass es sich um solche von recht unbedeutender Grösse handelt. Ihre Mächtigkeit ist gering, ihre Bewegung gleichfalls. Eine so intensive Gletscherwirkung ist also schwer vorstellbar, wie man sie zu ausreichender Erklärung von Hohlräumen annehmen muss, die in gar keinem Verhältnis stehen zu dem unbedeutenden Eisfleck, dessen Aussehen ja häufig zusammengebackenem Firnschnee mehr ähnelt als einem echten Gletscher.

---

8 Vergl. S. Günther: „Der gegenwärtige Standpunkt der Lehre von der Glacialerosion". Verh. d. 13. deutsch. Geogr.-Tages zu Breslau. Berlin 1901.

9 A. Penck: „Morphologie der Erdoberfläche". Stuttgart 1894. I. p. 410.

DIE KARE DER „HOHEN GAISL".

Die Erwägungen über Glacialerosion veranlassten mich, gerade diesem Punkte eingehende Beachtung zu schenken. Dazu hatte ich reichliche Gelegenheit in den Karen, welche dem Gebirgsstock der „Hohen Gaisl"[1] sein charakteristisches Gepräge geben. In das aus wohlgeschichteten roten und weissen Dachsteinkalken bestehende Massiv dieses Berges sind auf allen Seiten tiefe Kare eingesenkt, so dass für die höchste Erhebung nur ein schmaler Grat übrig bleibt. Während die auf der Süd-, West- und Nordseite gelegenen Kare nicht gerade besonders typisch sind, stellen zwei, das eine gegen Ost, das andere gegen Nord-Ost geöffnet, wahre Muster ihrer Formgattung dar,[2] und es ist auffallend, dass in der sonst so reichen Literatur[3] diese prächtigen Beispiele

---

1 3148 m; auch „Rote Wand", „Blutige Gaisl" und „Croda rossa" genannt. Da von diesem Berg im Folgenden wiederholt ausführlich die Rede ist, sei hier einige Literatur über denselben angeführt: P. Grohmann: „Wanderungen in den Dolomiten", Wien 1877, p. 168 ff., E. Richter: „Die Erschliessung der Ostalpen". III. Berlin 1894 p. 492 ff., F. Drasch: „Ersteigung der Hohen Gaisl über die Ostwand". Mitt. d. D. Oe. Alpenvereins XIV. München 1888, A. Lorria: „Croda rossa". Jahrbuch des Schweizer Alpenklub XXIV. Bern 1889. C. Diener: „Ersteigung der Croda rossa von der Ostseite". Oesterr. Alpenzeitung XIII. Wien 1891.

2 Herr Professor Dr. Pechuel-Loesche in Erlangen lenkte meine Aufmerksamkeit auf diese Kare und stellte mir ihre Untersuchung zur Aufgabe.

3 Siehe den letzten Abschnitt.

nirgends beschrieben sind.[4] In dem Nord-Ost-Kar liegt, orographisch ausserordentlich begünstigt, heutigen Tages noch ein Gletscher in der Höhe zwischen 2350 und 2490 m. Diese Lage ist an sich interessant; denn die durchschnittliche Höhe der klimatischen Schneegrenze in jenem Gebiet der Alpen ist mindestens 2700 m. Im Gegensatz zu diesem „aktiven" hat das Ost-Kar, obwohl sein Boden genau in der gleichen Höhe liegt, keinen Gletscher, es ist also „inaktiv", was seinen Grund darin hat, dass hier eine orographische Begünstigung nicht vorhanden ist; die Südwand dieses Kars ist nämlich teilweise zerstört, so dass Licht und Luft leichter Zutritt haben.[5]

Am Eingang beider Kare liegt ihre Sohle in einer Höhe von ca. 2270 m und ein Steilabfall, aus festem Fels, teilweise etwas aufgelagertem Blockwerk bestehend, trennt sehr markant jedes Kar von dem unterhalb gelegenen Gehänge ab. „Roches mouton-

---

4 A. Tornquist fügte seiner Abhandlung „Die im Jahre 1900 aufgedeckten Glacialerscheinungen am Schwarzen See" (Mitt. der geol. Landesanst. v. Elsass-Lothringen V. Strassburg 1901) eine Photographie der Hohen Gaisl mit den zwei Karen bei, beschränkte sich jedoch nur auf den Hinweis auf deren Aehnlichkeit mit quartären Bildungen in den Vogesen. — Die „Hohe Gaisl" ist berüchtigt wegen der Schwierigkeit ihrer Ersteigung. Dies und der Umstand, dass die Ampezzaner bezw. Misurina-Strasse den Hauptverkehr nach anderen Richtungen leiten, trug vielleicht dazu bei, dass so wenig Naturforscher ihre Schritte dahin lenkten. Seitdem auf der hochgelegenen Plätzwiese (2000 m) für ausgezeichnete Unterkunft gesorgt ist, kann man die „Hohe Gaisl" bedeutend leichter erreichen. Man geht von dem dortigen Hotel in 1½ Stunden bis zu jedem der erwähnten zwei Kare.

5 Von diesem Ost-Kar berichtet Dr. Drasch in der Schilderung seines Aufstieges (September 1887), dass er deutlich ausgeprägte Gletscherschliffe am Eingang zu passieren hatte und, als er in das Innere des Kars gelangte, dessen Grund hier mit Eis angefüllt traf, „wohl dem Ueberreste eines früheren Gletschers" (Mitt. des D. Oe. Alpenvereins XIV. München 1888. p. 66).

nées“ nehmen die ganze Breite des Karausganges ein; die Gletscherschliffe im Nord-Ost-Kar sind besonders schön erhalten an einer Stelle, wo das Eis einen Gesteinsriegel zu passieren hatte, dessen Schichtköpfe sich ihm förmlich entgegenstellten; sie wurden trotz ihres Widerstandes soweit abgeschliffen, bis sie in den allgemeinen Karquerschnitt hineinpassten. Nicht minder prächtige Rundbuckel im anstehenden Gestein weist das inaktive Ost-Kar auf und die Gletscherschliffe, die hier beiderseits hoch an den Wänden hinaufgehen,[6] sind besonders instruktiv, da sie den bekannten U-förmigen Querschnitt, dem man auch sonst überall bei glacialer Erosion begegnet, in so charakteristischer Weise zeigen, wie ich dies anderwärts in den Alpen selten habe beobachten können. Nach etwa 200 m Vordringen steht man in beiden Karen vor einem mächtigen Querwall aus Schutt, der an der Front 30 m Höhe erreicht und die Kar-Sohle ihrer ganzen Breite nach bedeckt. Gesteinstrümmer und Blöcke jeder Grösse, zumeist von scharfkantiger Form und eingelagert in rotem erdig-lehmigen Grus, dem Verwitterungsprodukte des stark ton- und eisenhaltigen Dachsteinkalkes, setzen diese Endmoränen zusammen. Als solche hat man nämlich die gedachten

---

6 Hierauf lege ich besonderes Gewicht, umsomehr, als die Wände, an denen sich die Schliffspuren ganz deutlich verfolgen lassen, senkrecht stehen. Richter waren Schliffspuren an Karwänden (vergl. „Kahre und Hochseeen“. Verh. d. Ges. deutsch. Naturf. u. Aerzte. 66. Vers. II. Wien 1894) nicht bekannt, er zog daraus weitere Schlüsse. Es sei hier mitgeteilt, dass im Sommer 1904 der Blitz vor meinen Augen in die geschliffene Wand (an einer etwas überhängenden Stelle) einschlug und mehrere cbm Gestein absprengte. — Uebrigens gibt auch P. Wagner (Die Seen des Böhmerwaldes. Dissertation, Leipzig 1897) geschliffene Wände an; ein schönes Beispiel einer geschrammten Grauwacke-Wand am westlichen Ufer des Belchensees ist abgebildet in L. van Werveke's: „Neue Beobachtungen an den Seen der Hochvogesen“. (Mitt. der geol. Landesanst. von Elsass-Lothringen. III. Strassburg 1892. Tafel IV.)

Schuttanhäufungen anzusehen.[7] Begibt man sich auf die Moränen selbst, so sieht man den ganzen Karboden gegen die Rückwand zu von ihnen bedeckt. Dabei fällt sofort auf, dass, je weiter man auf dem wilden Haufwerk loser Blöcke in das Karinnere vordringt, desto frischer und weniger verwittert das Trümmermaterial wird. Die Mächtigkeit der Moräne scheint gegen den Hintergrund des Kars abzunehmen, bis sie schliesslich — im Nord-Ost-Kar — in der Höhe von ungefähr 2350 m von dem äussersten Zungenende des kleinen Gletschers überdeckt wird. Weich und schmutzig, durch und durch mit eingebackenem Gestein jeder Grösse erfüllt, stellt sich die dünne Eisschicht am Gletscherende dar.

Fig. 2. Längsschnitt durch das Nord-Ost-Kar der Hohen Gaisl, 1 : 25 000, Moräne punktiert.

---

7 Derartige Moränen hat Partsch (Die Gletscher der Vorzeit in den Karpathen und den Mittelgebirgen Deutschlands, Breslau 1882, S. 66—76) an dem Beispiele der beiden „Schneegruben" im Riesengebirge (Kare in unserem Sinne) eingehend beschrieben und gezeigt, dass die Annahme von Bergstürzen und dergl. zur Erklärung der Blockmassen unhaltbar ist, dass vielmehr die Trümmerablagerungen die „vollkommenste Aehnlichkeit mit einer Erdmoräne" besitzen.

Grund-, Innen- und Oberflächen-Moräne lagern sich durcheinander ab, sobald das transportierende Material der Ablation anheimgefallen ist. Der Gletscher muss seit langem in stetigem, wenn auch kaum merkbarem Rückzug begriffen sein, denn man trifft in der Nähe seines heutigen Endes keinerlei wallartige Trümmeranhäufungen — Stirnmoränen im Kleinen —, wie sie sich beim Vorstossen einer Gletscherzunge ergeben müssten. Entzieht sich nun auch die Grundmoräne von hier an der Untersuchung, so hat man beim Hinaufschreiten auf den anfangs mässig, später stark geneigten Gletscher Gelegenheit, von dem kolossalen Schutttransport ein annäherndes Bild zu bekommen. Im Ost-Kar, wo kein Gletscher mehr existiert, wird das Moränenende im Hintergrund des Kars durch beträchtliche Schuttkegel, die von den Steilwänden abgefallen sind, verhüllt. Im Nord-Ost-Kar aber sucht man vergeblich nach solchen Schuttkegeln; dagegen sieht man, wie die herabstürzenden Trümmer auf das Gletschereis fallen und durch dessen Vorwärtsbewegung zu Oberflächenmoränen ausgezogen werden. Der kleine Kargletscher arbeitet also ebenso wie seine grossen Genossen 1. Ordnung, und man muss über die Intensität dieser Arbeit wirklich staunen. Denn die zu transportierenden Massen sind keineswegs klein. Ein Gestein, wie das der Hohen Gaisl, welches so ungemein rasch der Verwitterung anheimfällt, dass ein Spaziergang in diesen Karen des Steinschlages wegen stets mit Gefahren verbunden ist, liefert sehr grosse Mengen von Schutt; ausser den sonst bekannten Ursachen der mechanischen und chemischen Zerstörung bewirken der bereits erwähnte Gehalt an Eisenoxyd im Dachsteinkalk, sowie die ungemein grosse Zerklüftbarkeit[8] auch des „gesunden" Gesteins, dass sich in

[8] Nicht „Klüftung" oder „Absonderung". Diese Ausdrucksweise hat Salomon (Neue Beobachtungen aus den Gebieten des Adamello und St. Gotthard. Sitzungsbericht der Akademie

verhältnismässig kurzen Zeiträumen mächtige Schuttkegel am Fusse der Wände ansetzen. Dies zeigt sich wie schon erwähnt, deutlich in dem jetzt inaktiven Ost-Kar, und, wenn man einen Blick aus dem Kar heraus nach Süd-Osten hinüberwendet, in grossartigem Massstabe am Fuss der „Drei Zinnen".

In 2445 m Höhe traf ich im Sommer 1904 den Kargletscher[9] seiner ganzen Breite nach abgerissen, eine Folge des starken Neigungswinkels, vielleicht auch der sehr bedeutenden Schneefälle der zuvorvergangenen Winter. Es gelang mir, durch die Spalte hinabzusteigen und im Zickzack etwa 10 m tief bis

---

der Wissenschaften, Berlin 1899, I) eingeführt, um damit die Fähigkeit der meisten Gesteine, nach gewissen Ebenen leicht getrennt werden zu können, zu bezeichnen. Es soll nicht gesagt sein, dass das Gestein an sich schon durchklüftet ist, sondern dass es Ebenen maximaler und minimaler Cohäsion besitzt, ähnlich der Spaltbarkeit der Kristalle, die ja primär auch keine Spalten zu haben brauchen. Der Unterschied liegt darin, dass die Spaltbarkeit ihre Spalten durch jeden Punkt des Kristalls hindurchlegen kann, die Klüftbarkeit gewisse Abstände einhält. So erklärt sich die erstaunliche Sprengwirkung des Spaltenfrosts im zerklüftbaren Gestein, wie wir sie beispielsweise bei den Cinque torri in ausserordentlicher Weise zu sehen bekommen.

9 Während Drasch 1887 in dem jetzt eisfreien Ost-Kar Gletscherreste antraf, und Richter 1888 als Fläche des im Nordost-Kar gelegenen Croda rossa-Gletschers „etwa 20 ha" angab (Die Gletscher der Ostalpen. Stuttgart 1888, p. 273), fanden Pechuel-Loesche und Tornquist 1895 das Eis im Nordost-Kar so stark zusammengeschmolzen, dass sie die Rückwand des Kars leicht erreichen konnten (Mündliche Mitteilung). Ich schätzte 1904 die Fläche des kleinen Gletschers auf 7—8 ha. Er scheint also leicht zu schwanken und hat dadurch, dass sich seit 1895 ein neuer „Eiskuchen" auf den alten gelagert hat, erst in jüngster Zeit zugenommen; der Firn lagert jetzt steil an der Kar-Rückwand an, so dass es kaum gelingt, an sie heranzukommen.

(Der Bemerkung über den Gletscherrückgang auf pag. 20 ist durch diese Angaben nicht widersprochen, insofern als dort nur an grosse, wirkungsvolle Schwankungen gedacht ist, und 9 Jahre [1895—1904] keine Zeit darstellen für Bildung von Stirnmoränen.)

auf den Gletschergrund zu kommen. Schon nach einem Meter zeigte sich verhältnismässig festes Eis. Allerdings war von dem leuchtenden, oft tief gesättigten Blau, das man bei grossen Gletschern bewundert, nicht viel zu merken. Der oben auflagernde Firn sowohl wie das kompakte Eis waren mit Gesteinstrümmern von Staubform bis zur Grösse von mehreren Kubikdezimeter durch und durch erfüllt.[10]

---

[10] Am Gletschergrund liessen sich keine Schliffe erkennen, im Gegenteil scharfkantige Formen, die an einigen Stellen durch „Ausbrechen" entstanden erschienen. Trotz der kantigen Beschaffenheit zeigte sich aber das Gestein mürbe und durchfeuchtet, so dass es nicht gelang, grössere Handstücke abzuschlagen. Aus diesem Befunde weitere Schlüsse auf das Gletscherbett zu ziehen, scheint mir nicht angängig, da die Stelle —2445 — zu nahe am Gletscheranfang — ca. 2490 m — liegt. Immerhin ist beachtenswert, dass schon etwas Grundmoräne zu sehen war, mit schlammigem Eis vermischt.

GLACIAL-EROSION IN DEN KAREN.

Die im Vorstehenden erwähnte Infiltration des Eises mit Gesteinstrümmern trägt viel zur Erklärung der intensiven Wirkung des kleinen Gletschers bei. Von der Kar-Rückwand, die hier nahezu 650 m senkrecht in die Höhe ragt, fällt der „Randschutt" auf den Schnee. Neuer Schnee deckt den Schutt zu und aus dem älteren wird Firn, schliesslich Eis; dabei werden die Gesteinstrümmer eingebacken. Das Eis bewegt sich in der ganzen Gletscherbreite langsam von der Rückwand weg nach vorwärts und abwärts. Während dessen hat neuer Schutt den zuletzt gefallenen Schnee bedeckt. Dieser Prozess wiederholt sich ununterbrochen. Auf solche Weise gelangen die am meisten mit Randschutt erfüllten Eismassen in tiefere Lagen und schliesslich auf den Gletschergrund, wo sie nun mit ihrer erodierenden Tätigkeit beginnen, sei es durch Quetschen und Vorwärtspressen der losen, oder durch Schrammen und Aufbrechen mittels der in Eis „gefassten" Trümmer. Da der Randschutt erst in einiger Entfernung von der Rückwand nach und nach auf den Karboden und dort zur Wirksamkeit, d. h. „Grundschutt"-Bildung gelangt, so erhellt, dass im Karprofil der Uebergang von der Steilwand zur Sohle nicht in scharfem Winkel, sondern in konkavem Bogen erfolgen muss. Die Verhältnisse an den Kar-Seitenwänden sind ganz ähnlich: durch die sich bildenden zwei konkaven Bögen erklärt sich der U-förmige Querschnitt bei Glacialerosion. Seit Finsterwalder[1] seine

1 Der Vernagtferner. Wissensch. Erg.-Hefte zur Zeitschrift d. D. Oe. Alpenvereins. Graz 1897. I. 1. p. 47 ff.

Theorie über die Art der Gletscherbewegung veröffentlicht hat, kann man sich über den Verlauf jedes einzelnen Eispartikels auf und in dem Gletscher eine genaue Vorstellung machen; sie gestattet mittels der Kontinuitätsgleichung [2] die Berechnung von Ein- und Austrittswinkel, sowie des Verlaufs der „Stromlinien", welcher die einzelnen Firnteilchen, allmählich zu Eiskörnern umkristallisierend, innerhalb des Gletschers folgen. Man kann annehmen, dass durch diese Stromlinien auch den eingebackenen Gesteinsstückchen ihr Weg bis zu einem gewissen Grade vorgeschrieben wird. So klar hierdurch auch der Verlauf der Innenmoränen bei den grossen Gletschern I. Ordnung gemacht ist, so führt doch die Rechnung bei den kleinen Kargletschern nicht zur richtigen Beurteilung der genannten Moränen. Schon das Aussehen lässt darüber keinen Zweifel, dass das Eis bei den Gletschern II. Ordnung viel eher Firneis zu nennen ist. Infolge der geringen Festigkeit kommt das spezifische Gewicht der Steine zur Geltung, sie können rascher versinken und der Eintrittswinkel ihrer Stromlinien ist ganz bedeutend grösser als er sich aus genannter Formel für die Firnkörner ergeben würde. Aus derselben Ursache werden Grundmoränenbestandteile, deren Stromlinie im Abschmelzungsgebiet zur Gletscheroberfläche

---

2 Diese geht von dem Gedanken aus, dass jedem Flächenstück d F im Firnfeld ein Flächenstück d f im Abschmelzungsgebiet entspricht; auf d f ist die Ablation a äquivalent der Akkumulation A auf d F. Tritt nun die Stromlinie unter dem Winkel Φ mit der Geschwindigkeit V in das Firnfeld ein, im entsprechenden Flächenstück des Abschmelzungsgebietes unter dem Winkel φ mit der Geschwindigkeit v aus, so besteht die Beziehung

$$d F . A = d F . V \sin \Phi = d f . a = d f v \sin \varphi$$

welche in die einfacheren Formen

$$A : a = d f : d F, \quad \sin \Phi = \frac{A}{V}, \quad \sin \varphi = \frac{a}{v}$$

zerlegbar ist. Aus den beiden letzten Gleichungen lassen sich direkt die Winkel ausfindig machen, welche die Stromlinien mit der Gletscheroberfläche bilden.

ansteigt, sich nicht aufwärts bewegen, sondern Grundmoräne mit entsprechender Wirksamkeit bleiben. Dass die beobachtete Beschaffenheit des Gletschergrundes noch in besonderem Grade zu dessen Zerstörung beiträgt, darf wohl angenommen werden. F. Löwl's Vergleich eines Gletschers mit einem nassen Schwamme, der seinen Untergrund stets feucht und deshalb namentlich der chemischen Verwitterung zugänglich erhält, dürfte sehr zutreffend sein.[3] Ich möchte bei dieser Gelegenheit nicht unterlassen, auf die Mitwirkung der überall in der Atmosphäre vorhandenen N-Verbindungen hinzuweisen. Nähere Untersuchungen darüber konnte ich allerdings nicht anstellen. Wenn man aber bedenkt, dass — in unseren Breiten — im Kubikmeter Regenwasser 2,5 g NH_3 enthalten sind,[4] und dazu die Gewitterhäufigkeit im Hochgebirg[5] in Betracht zieht, so wird man auch hierin ein zu berücksichtigendes Moment erblicken. Es ergibt sich also aus den vorstehenden Beobachtungen und Betrachtungen, dass bei den Kargletschern trotz ihrer Unansehnlichkeit alle jene Faktoren vorhanden sind, als deren Produkte die Anhänger der Glacialerosion die riesigen Arbeitsleistungen und Umgestaltungen der Gebirge erklären.

---

3 Ferd. Löwl: „Ueber Talbildung". Prag 1884. p. 135.

4 Nach: Svante Arrhenius: Lehrbuch der kosmischen Physik. Leipzig 1903. II. p. 482; in den Tropen ist der Gehalt grösser. Vergl. Pechuel-Loesche: Ueber elektr. Entladungen und Entstehung der Laterite in „Kongoland". Jena 1887, p. 352, in „Das Ausland", 1884, Nr. 24, und in „Die Loango-Expedition". Leipzig 1882 III. p. 91, 92.

5 Drei Wochen lang zog im Sommer 1904 fast täglich gegen Abend ein Gewitter über Ampezzo. Von der Erzeugung nitroser Dämpfe durch elektrischen Strom kann man sich übrigens leicht überzeugen: unmittelbar nach dem Ausschalten einer Nernstlampe machen sie sich durch den charakteristischen Geruch bemerkbar, besonders bei Anwesenheit von Wasserdampf.

VERSCHIEDENE ANSICHTEN UEBER DIE KAR-BILDUNG.

Auf die glaciale Entstehung der Kare und der häufig in ihnen gelegenen Hochseen hat zuerst (1862) A. C. Ramsay in Grossbritannien aufmerksam gemacht, später Gastaldi in den Westalpen und Helland in Norwegen. Es folgten mit weiteren Studien eine grosse Zahl von Forschern, so in den Karpathen und den deutschen Mittelgebirgen J. Partsch, in den Pyrenäen A. Penck, in den Alpen A. Geistbeck, A. von Böhm, E. Richter. (Die wichtigste Literatur ist im letzten Abschnitt verzeichnet, weshalb hier auf weitere Anführungen verzichtet ist.) Die Beschäftigung mit dem Karproblem hat immer wieder neue Gesichtspunkte für die Nischenentstehung gefördert. Sie führten aber, obwohl die meisten eine einheitliche Genesis annahmen, bis zum heutigen Tage nicht zu übereinstimmenden Ansichten. Aus den wechselnden Auffassungen, in denen anfänglich die Kare sogar als Kraterbildungen angesehen wurden, haben sich im allgemeinen fünf Erklärungsversuche herausentwickelt, nämlich dass die Kare ihr Entstehen verdanken:

1. tektonischen Vorgängen,
2. der petrographischen Verschiedenheit der Gesteine,
3. der mechanischen Tätigkeit des Wassers,
4. der Gletscherwirkung,
5. der hydrochemischen und mechanischen Verwitterung.

Wagner[1] und in jüngster Zeit März[2] haben diese Theorien zusammengestellt und eingehend diskutiert, so dass ich, um zwecklose Wiederholungen zu vermeiden, hier auf die genannten Autoren verweisen kann. Beide kommen zu dem Schlusse, dass nicht eine, sondern die Verknüpfung von mehreren der angeführten fünf Theorien eine ausreichende Erklärung gäbe. Wagner ist unter hauptsächlicher Anlehnung an Richter[3] der Ansicht, dass in erster Linie die Wassererosion für die Karbildung massgebend sei. „Während der Glacialperiode lag . . . . zwischen der oberen Grenze der geschlossenen Vegetation und dem Gebiete des diluvialen Firns eine Zwischenregion, mit spärlichem Pflanzenwuchs, mit vielen kahlen Felsstrecken, eine Zone, preisgegeben der intensivsten Zerstörung. Zwar ist hier die Wasserkraft einen grossen Teil des Jahres durch den Frost gefesselt; aber zur Zeit der Schneeschmelze arbeitet sie desto energischer und zeichnet tiefe Spuren in die Erdoberfläche. Keine Pflanzendecke reguliert und hindert den Wasserabfluss; die Erosion schneidet viel rascher senkrecht in die Tiefe als weiter unten im Gebiete dichten Pflanzenwuchses. In den Erosionsrinnen entsteht an der Vegetationsgrenze eine Gefällsknickung, und zwar oberhalb der letzteren ein der Horizontalen genäherter Talboden. Je energischer die Tiefenerosion, desto rascher arbeitet sie auch rückwärts; die Hintergehänge werden steiler. An der Konvergenzstelle besonders starker Quellbäche entsteht eine kesselartige Weitung, die sich nach der Vereinigung der Rinnsale zu einem einheitlichen Bett zusammenzieht und zunächst eine

---

1 P. Wagner: Die Seen des Böhmerwaldes etc. Dissertation. Leipzig 1897.

2 Chr. März: Der Seenkessel der Soiern, ein Karwendelkar. Wissensch. Veröffentlich. d. Vereins f. Erdkunde. Leipzig VI. 1904.

3 Wagner schrieb übrigens 1897, vor dem Erscheinen von Richter's: Geomorpholog. Untersuchungen in den Hochalpen (1900).

Klamm bildet, —wir haben einen Trichterzirkus vor uns".[4] In diesem lässt Wagner — sekundär — den Schnee sich sammeln und gegebenen Falls als Firn und Eis, aber nur in schwacher Weise wirksam werden. März betont in seiner Erklärung, vornehmlich Rothpletz folgend, das tektonische Moment und tritt im übrigen für eine konservierende Wirkung der Firneinlagerung in den Karen ein. Von den Poljes und Dolinen in den Dinarischen Alpen[5] und im Karst ausgehend, welch' letztere sich dort reihenweise längs Verwerfungsspalten bilden, nimmt März auch für die ursprünglichen Kalkplateaus der Alpen ähnliche Dolinenreihen[6] an, wobei er allerdings zugibt, dass der Nachweis dafür aus den jetzigen Verhältnissen heraus sich nicht mehr erbringen lasse.[7] Als die Hebung und Faltung der schwebend gelagerten Schichten eintrat, kamen die einzelnen Glieder einer Dolinenreihe untereinander zu liegen, statt wie vorher nebeneinander. Die Erosion des fliessenden Wassers wurde wirksam, aus den reinen Dolinen am Gehänge des Gebirges entstanden karähnliche Bildungen dadurch, dass ihr unterer kreisförmiger Rand durchbrochen wurde, und mehrere Dolinen verbanden sich die schiefe Ebene hinab zu einer Dolinentreppe. Dazu gesellte sich die Wandverwitterung, während die einstige Scheidewand zwischen zwei Dolinen noch als Stufe im Terrassenhang zu erkennen ist. Diese Stufen suchten Wandverwitterung und Trichterbildung auch fernerhin zu erhalten und zu verschärfen.[8] Hinsichtlich der nun folgenden Einwirkung der Glacialperiode gibt März zu, dass die so vorgebil-

---

4 Wagner, a. a. O., p. 86, 87.

5 Vergl. hiezu: A. Penck: Geomorpholog. Studien in der Herzegowina. Zeitschrift des D. Oe. Alpenvereins XXXI. München 1900.

6 März a. a. O., p. 296, 297.

7 März a. a. O., p. 305.

8 März a. a. O., p. 297.

deten Dolinenkare besonders geeignet waren, Firn in grossen Massen zu sammeln und die Ursprungsstätte von Gletschern zu werden. „Höher aber als die zerstörende Tätigkeit der Gletscher schätze ich (März) ihre konservierende. Unter dem Eise war die Erosion des fliessenden Wassers der Hauptsache nach aufgehoben. Der Hauptfeind der typischen Kare war lahmgelegt. Auch von der Zuschüttung der Kare durch Schutt schützte das Eis. Wäre die Eiszeit nicht gewesen, so wären die meisten . . . . Kare in Erosionstäler umgewandelt worden, dadurch, dass das Wasser die Schwelle zwischen steilem Terrassenhang und flacher Stufe durchbrach. Die Gletscher haben für die Kare die Bedeutung eines Konservierungsmittels gehabt".[9]

---

[9] März a. a. O., p. 298.

ENTSTEHEN DER KARE DURCH ZUSAMMENWIRKEN VON GLACIALEROSION und WANDVERWITTERUNG.

Wenn ich hieran anknüpfend ein ungefähres Bild von der Ansicht entwerfen soll, die ich mir auf meinen Wanderungen im Hochgebirge über die Genesis der Kare gebildet habe, so muss ich zunächst betonen, was ich schon auf Seite 9 zum Ausdruck brachte: Ein einheitliches Formprinzip erkennt man im Hochgebirge erst dann, wenn man in der Formenbetrachtung bis zu jenem Zeitpunkt zurückgeht, wo überhaupt mechanische und chemische Verwitterung ihre Wirksamkeit zuerst in der heutigen Weise entfalten konnten. Das war der Fall unmittelbar nach dem Ende der Eiszeit, und ich unterscheide daher lediglich nach der Zeit, zunächst ohne Rücksicht auf die Intensität zwischen glacialer Formengestaltung und post- bezw. praeglacialer Verwitterung.

Wagner, dessen Ausgangspunkt für die Beurteilung des Karproblems der Böhmerwald bildet, scheint mir allzusehr der postglazialen Verwitterung gerecht zu werden. In der Tat habe ich auf Touren in den dortigen Bergen so spärliche Anzeichen einer einstigen Vergletscherung gesehen, dass ich Bedenken hatte, die Entstehung der verschiedenen Seen mit eiszeitlichen Karen in Zusammenhang zu bringen.[1]

---

1 Bei meiner Anwesenheit im Böhmerwald kannte ich die Schrift Wagner's noch nicht.

Trotz ihrer auffälligen Form, auch wenn man sie als Kare ansieht — Penck bezeichnet Kare als „orographische Leitfossile der alten Gletscher“ [2] —, kann man sich bei der Zerstörung ihrer Ursprünglichkeit in postglacialen Zeiten und bei den sonst im Böhmerwald ausschliesslich vorherrschenden Mittelgebirgsformen die einstige Vereisung des Gebirges nicht mehr leicht vorstellen. Daher mag wohl auch Wagner's ablehnende Haltung gegen die Glacialerklärung stammen. Wenn März hingegen das hauptsächlichste Gewicht auf tektonische Kräfte als die Ursachen der Karentstehung legt, so meine ich, dass damit die praeglaciale Zeit zu sehr betont ist. Gewiss können wir — wir werden sehen, dass wir sogar gezwungen sind, die ursprüngliche Anlage der Kare in praeglacialer Zeit zu suchen — uns vorstellen, dass aus dolinenartigen sich karähnliche Formen herausentwickelt haben, und für die Karwendelkare, die März beschreibt, mag diese Erklärung durchaus annehmbar sein. Aber für eine so allgemeine Erscheinung im Hochgebirge, wie es die Kare sind, reicht sie nicht aus; man denke nur an ihr Auftreten im Urgebirg,[3] wo sie mindestens ebenso regelmässig und typisch vorkommen, wie in den Kalkalpen, wo aber Dolinen und dergleichen nicht vorstellbar sind.

Wenn man sich auf Wanderungen im Gebirge eine Anzahl Kare auf ihre Entstehungsweise hin betrachtet, und zwar weder zu weit unter, noch über der Schneegrenze gelegene, deren Formen nicht durch Vegetation oder Schneebedeckung verhüllt sind, — am besten also in der sogenannten Schuttzone des Hochgebirgs, —

---

2 A. Penck: Geograph. Wirkungen der Eiszeit. Verhandl. d. 4. deutschen Geographentages zu München. Berlin 1884. p. 79.

3 Kare finden sich im Granit, Tonalit, Syenit, Gabbro, Serpentin, Gneiss, Glimmerschiefer, Quarzschiefer, Hornblendeschiefer, Grauwacke genau so wie im Bundsandstein, Gips, Kalk und Dolomit; diese Reihe lässt sich leicht noch vermehren.

so kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, dass man in ihnen die Zeugen einer gewaltigen Wirkung des gefrorenen Wassers vor sich hat. Vollends in noch aktiven Karen, wo am Fusse der Wände keine Schuttkegel, an deren Stelle aber frische Stirnmoränen und allenthalben, mitunter bis hoch an den Seitenwänden hinauf,[4] glattgeschliffene Felspartien anzutreffen sind, wird man, man mag vorher über die Glacialerosion wie nur immer gedacht haben, von ihrer ganz unverkennbaren Kraftwirkung überzeugt werden. Auch meine ursprünglich unklare Anschauung hierüber änderte sich bei den Karstudien zu solcher Gewissheit, dass ich glaube, gerade hier ausgezeichnete Beweise zu finden für die zermalmende, zerreibende, furchende, feilende und schleifende, nicht am wenigsten auch verwitternde Gletscherwirkung, wie letzteres seinerzeit durch Blümcke und Finsterwalder[5] experimentell festgestellt wurde. Unter den vielen, die diesen Standpunkt vertreten haben, nenne ich nur Aug. von Böhm, dessen meisterhaften Ausführungen „Ueber Glacialerosion“[6] selbst die Gegner sich schwerlich entziehen können. Führen doch auch die neuesten und auf direkten Messungen beruhenden Forschungen von Hess[7] zu dem Ergebnis, dass es eine völlig unhaltbare Anschauung ist, der Gletscher schütze seine Unterlage vor Zerstörung. Hess hat aus Volum-Messung der lediglich aus Grundschutt bestehenden Innenmoräne des Hintereisferners exakt berechnet, dass dieser Gletscher sein

---

4 Vergl. Anmerkung 6, p. 18.

5 Zur Frage der Gletschererosion. Sitz.-Ber. der math.-phys. Klasse der k. b. Akad. d. W. III. München 1890. p. 435 bis 444.

6 VIII. Kapitel in „Die alten Gletscher der Enns und Steyr“. Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst. XXXV. Wien 1885.

7 H. Hess: XXXIII. Bericht über die wissensch. Untersuchungen des D. Oe. Alpenvereins. Mitt. d. D. Oe. Alpenvereins. 1903 (Dezember).

Bett jährlich um 2—3 cm erniedrigt, was einer allgemeinen Vertiefung von 1 m in 30—50 Jahren entspricht, d. h. die Getschererosion macht allermindestens zehnmal so viel aus, als die durch das fliessende Wasser hervorgebrachte. Es gibt leider nicht viele Stellen, wo dies ohne weiteres einleuchtend zutage tritt. Mir ist ein einigermassen grösseres Gebiet, über das noch vor kurzem — es sind erst 50 Jahre her — der Gletscher hinwegzog, bekannt in dem Vernagtgraben im Oetztal. Ein gänzlich vegetationsloses, durch Unwegsamkeit und Oede überwältigendes Terrain, ein über ½ Kilometer breites, 2 Kilometer langes Schuttfeld von abschreckender Wildheit, dazwischen überall abgeschliffene Felsköpfe zeigend, so stellt sich das verlassene Gletscherbett des Vernagtferners dem Auge dar.[8]

Von der Glacialerosion war auch Helland überzeugt, der seine Erklärung der „Botner" auf das Vorhandensein und die scheuernde Kraft der Gletscher[9] stützte. In ähnlicher, jedoch nicht so weitgehender Weise drückte Richter seine Meinung aus: „Durch Schnee- oder Gletschereinlagerung wird die Ausgestaltung (der Nischen) wesentlich beeinflusst".[10] Seinem Erachten nach geht indessen die Zerstörung der Wände, die einen Gletscher umsäumen, schneller vor sich, als die Tieferlegung des Grundes, erweitern sich Kare und Botner schneller, als sie sich einsenken.[11] Da-

---

8 Vergl. S. Finsterwalder: „Der Vernagtferner". Wissensch. Erg.-Hefte zur Zeitschrift d. D. Oe. Alpenvereins, I. 1. Graz 1897, p. 78.

9 Amund Helland: Om Indsöerne i Italien og fjordene i Norge". Archiv for Mathemat. u. Naturvid. II. Christiania 1877 (zit. nach Richter).

10 E. Richter: Geomorphologische Beobachtungen aus Norwegen. Sitz.-Ber. d. k. k. Akad. d. Wiss. Math.-nat. Kl. CV. 1, Wien 1896. p. 157.

11 E. Richter: Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen. 132. Erg.-Heft zu Petermann's Mitt. Gotha 1900. pag. 7.

mit stimmt jedoch die Beobachtung nicht überein, dass es Kare gibt, deren Breite von der Tiefe übertroffen wird. Dies könnte nicht der Fall sein, wenn die Tiefenerosion kleiner wäre, als die Wandverwitterung,[12] man müsste denn voraussetzen, dass schon vor der Bildung des Kars an seiner Stelle eine bedeutende Vertiefung, etwa eine Wasserrinne vorhanden war. Die im Vorangehenden beschriebenen Kare an der Hohen Gaisl sind nun tatsächlich tiefer als breit, und machen dabei so recht den Eindruck von Gletschergehäusen. Kein Anzeichen deutet darauf hin, dass eine praeglaciale Wasserrinne die Veranlassung zu ihrer Bildung gewesen wäre. Bei der Verwitterung der Seitenwände dieser Rinne wären ihre Spuren durch „Rückwärtseinschneiden" sicherlich erhalten geblieben; es wäre dann, wie dies so schön in den Karen der Cadinspitzen[13] zu beobachten ist, die Rückwand angenagt oder zerstört worden. Das ist aber hier nicht der Fall; in hohem Bogen wölbt sie sich 600 m über die Sohle des Kars als dessen Abschluss empor.

So komme ich zu dem Schluss, dass die Wandverwitterung bei der Karbildung von der Tiefenerosion, wenn auch nicht immer, übertroffen werden kann, und dass diese deshalb durchaus nicht an zweite Stelle gesetzt zu werden braucht. Sie ist aber, wie der U-Querschnitt der typischen Kare beweist, glacialer Natur, und damit nähert sich meine Anschauung ungefähr jener, welche Penck in seiner „Morphologie der Erd-Oberfläche"[14] gegeben hat. Auf den Gehängen eines gewöhnlichen Mittelgebirges bilden sich, sobald die klimatische Schneegrenze unter dessen Gipfel heruntersinkt, an Stellen, die etwas kon-

---

12 Ein in diesem Zusammenhang von Richter eingeführter Ausdruck (vergl. Kahre und Hochseen, p. 254).

13 In den Ampezzaner Dolomiten; eine Reihe von Abbildungen bringt Ad. Witzenmann: Die Gruppe der Cadinspitzen. Zeitschr. d. D. Oe. Alpenvereins XXXIII 1902. p. 381—413.

14 II. Teil p. 307—308.

kav oder sonst dazu geeignet sind, Ansammlungen von Schnee. An letztere knüpft sich die Entwicklung kleiner Gletscher, der sogen. Gehängegletscher, welche auf ihrem Untergrund vermöge der erodierenden Tätigkeit um so leichter eine nischenartige Erweiterung bewirken, als bei der geringen Mächtigkeit des Eises unter diesem durch häufiges Tauen und Wiedergefrieren eine namhafte subglaciale Verwitterung erfolgt. Die erodierende Kraft dieses Gehängegletschers ist unterhalb der Mitte der Nische am grössten, weil hier die Mächtigkeit des Eises am grössten ist, und weil nach dieser Stelle hin sich die Bewegung von den oberen Partien wegen des Gefälles der Unterlage richtet. So wird denn etwa die Mitte des Gletscherbodens am stärksten erodiert und dadurch die ursprünglich vorliegende Konkavität des Gehänges mehr und mehr vertieft, während das erodierende Gestein zugleich am unteren Rande des Gletschers als Moränenwall angehäuft wird. Es finden dicht nebeneinander Akkumulation und Erosion statt, doch hindert die Anhäufung des Moränenwalles am Gletscherrande nicht die Erosion unter der Gletschermitte. Letztere kann bis unter den Moränenwall vertieft werden; es entsteht ein Kar mit einer Wanne, welche vorwiegend Moränendammwanne ist. Indem die Vertiefung der Mitte fortschreitet, entwickelt sich endlich ein Kar mit tiefer Felsenwanne, die einen See bergen kann.

Ein Umstand ist bei dieser Auffassung unklar: das ist die Entstehung der steilen, oft nahezu senkrecht abfallenden Rück- und Seitenlehnen der Kare. Die erodierende Tätigkeit des kleinen Gehängegletschers ist an seinen Rändern gleich Null; erst in der Mitte wird sie so stark, dass sie den Untergrund tiefer zu legen vermag. Es könnte also die normale Neigung des Gehänges — im Längsschnitt durch das Kar — nur allmählich in die Karsohle übergehen; es würden, wäre nur der Firn wirksam, keine Steilwände geschaffen. Nun treffen wir aber stets letztere an. Scharf-

randig sind sie gegen das Berggehänge, aus dem sie herausgeschnitten, abgesetzt. Hier meine ich, müssen wir uns eine zweite Kraft an der Erzeugung der Karform mitwirkend denken. Diese ist die Wandverwitterung. Stets, wenn eine Gesteinsart unbedeckt der Einwirkung der Atmosphärilien ausgesetzt ist und dabei eine gewisse Steilheit besitzt, werden mechanische und chemische Verwitterung es in der Weise angreifen, dass kleinere und grössere Trümmer abgesprengt werden und sich eine Neigung zur senkrechten Wandbildung einstellt. Wir können nun bei dem fortschreitenden Tieferlegen der Karsohle uns den Fall vorstellen, dass der Uebergang vom ursprünglichen Gehänge zur Tiefe der Nische so steil geworden ist, dass darauf keine Firndecke mehr liegen bleibt. Dann wird sofort das nackte Gestein angegriffen und die Wandverwitterung beginnt. Sie wird verschiedene Formen prägen nach Exposition (Wetterseite, Sonnenseite), sowie nach Art und Lagerung des Gesteins, aber deshalb intensiv wirksam sein, weil der untenliegende Firn die abgesprengten Gesteinstrümmer sogleich wegführt und die Bildung von Schuttkegeln verhindert. Das ist meines Erachtens der Anteil der Wandverwitterung an der Karbildung. Ist sie stärker als die Glacialerosion, so entstehen weite und flache, ist sie schwächer, so bilden sich tiefe und langgestreckte Kare. Das Wesentliche ist, dass Wandverwitterung und Glacialerosion gleichzeitig stattfinden müssen, um den Kar-Typus zu erzeugen. Wo das heute noch der Fall ist, wird das charakteristische Kar in seiner Form erhalten und fortgebildet; ist nur noch die Wandverwitterung herrschend, wird es zerstört.

Wenn in dieser Erklärung der Zusammenhang der Karbildung mit der Höhe der klimatischen Schneegrenze herangezogen ist, so ist dadurch auch verständlich gemacht, warum die Kare so oft gesellig neben einander auftreten und weshalb die Sohlen benachbarter Kare sich stets in annähernd gleicher Höhe befin-

den. Die Schneegrenze senkte sich, unbekümmert um das Emporragen einzelner Gipfel oder ganzer Bergmassen gleichmässig auf das Gebirgsland herab. Wir finden die Kare deshalb auch ausschliesslich in vergletscherten oder vergletschert gewesenen Gebirgen, und wenn wir sie beispielsweise in den deutschen Mittelgebirgen durchweg in dem Höhengürtel 1050—950 m antreffen, so beweist uns das, dass in der Glacialzeit die Schneegrenze sich in dieser Höhe befunden haben muss. Penck geht dann in seiner Erklärung über auf die Kartreppe, d. h. auf die auffallende Erscheinung, dass sich häufig unterhalb eines Kares ein zweites, darunter ein drittes und so fort findet, immer wieder vom oberen durch eine steile Gehängestufe getrennt. Es ist dies ein Zeichen dafür, dass das Wachstum der alten Gletscher, ebenso ihr Rückschreiten nicht kontinuierlich, sondern schrittweise erfolgte. Die einander entsprechenden Karniveaus in einer Gruppe derartiger Treppen deuten daher im allgemeinen auf bestimmte Stadien in der Verrückung der Schneegrenze; Treppenkare sind charakteristisch [15] für Gebirge, welche die gesamte Höhenveränderung der Schneegrenze von deren tiefsten bis zur heutigen Lage erlebt haben. Wenn wir in den deutschen Mittelgebirgen keine Kartreppen finden, so besagt das, dass ihre Erhebungen während der Eiszeit gerade noch in die Region des ewigen Schnees hineinreichten; dagegen finden wir in den Karpathen die Kartreppen bis zu 1000 m unter der heutigen Schneegrenze, welche gerade noch die höchsten Gipfel berührt. Auch bei den im Vorausstehenden beschriebenen Karen der Hohen Gaisl findet sich, schon ins Vegetationsgebiet herunterreichend, je unterhalb der Steilstufen ein Kar von allerdings starker Verwi-

15 Man muss hiebei allerdings auch berücksichtigen, dass sowohl orographische Verhältnisse, wie petrographische Verschiedenheit und ungleichmässige Widerstandsfähigkeit des Gesteins die Bildung von Kartreppen begünstigen, bezw. erschweren können.

schung des ursprünglichen Aussehens.[16] Eine interessante, durch ein beigelegtes Kärtchen wertvolle Beschreibung einer solchen Treppe hat Salomon aus dem an Karen und Hochseen reichen Adamello-Gebiet geliefert;[17] hier liegen im Val d'Avio, aus festem Tonalit herausgearbeitet und mit allen Anzeichen glacialer Erosion behaftet, sechs Kare übereinander.

Was nun bei der hier angeführten Kar-Erklärung einigermassen Schwierigkeiten bereitet, ist die allererste Anlegung, die Annahme von Einsenkungen oder Konkavitäten irgend welcher Art, welche schon vor der Eiszeit existiert haben. Man kann sich nicht denken, dass an einem dachförmig geneigten und dabei glattem Gehänge Schneemassen sich angesammelt, sich in Gletschereis umgesetzt und so einzelne Kare geschaffen hätten. Man würde dadurch zu der Konsequenz geführt, dass das Dach seiner ganzen Breite nach gleichmässig bearbeitet worden wäre; es hätten keine Bergrippen zwischen benachbarten Karen stehen bleiben können. Eine zusammenhängende Schnee- oder Eisdecke auf ebenem, wenn auch geneigtem Untergrund bildet keine Kare. „Verfolgt man", sagt Richter,[18] „den Prozess (der Karbildung) noch so weit zurück in seinen Anfang, so wird man doch die Voraussetzung einer schon vorhandenen Einsenkung niemals entbehren können. Irgend eine Grube oder Nische, in der sich die Schneeeinlagerung als solche isolieren konnte, wird man immer annehmen müssen, und ihre Entstehung wird also eine ausserhalb der Karbildung liegende Veranlassung gehabt haben". Richter kommt,

---

16 Das dann darunter folgende Stolla-Tälchen kann nicht mehr als Treppenkar angesehen werden, sondern ist als hinterster Teil einer längeren Talstufe zu bezeichnen.

17 W. Salomon: Können Gletscher im anstehenden Fels Kare etc. erodieren? Neues Jahrbuch für Mineralogie etc. Stuttgart 1900. II. p. 135—137.

18 E. Richter: Geomorph. Untersuchungen in den Hochalpen. Gotha 1900. p. 4.

weil in den Alpen die meisten Kare innig an das praeglaciale Talsystem gebunden erscheinen, zu der Ansicht, dass die erste Firneinlagerung in den letzten Verzweigungen der Täler, also in Rinnen, Schluchten und Quellenzirken stattgefunden hat, ja, haben muss.[19] Man kann dies in vielen Fällen ohne weiteres gelten lassen. Es gibt aber eine grosse Anzahl von Karen, deren Lage nichts mit dem praeglacialen Talsystem zu tun hat. Es lässt sich dies aus dem heutigen Talsystem, das ja das praeglaciale wiederspiegelt,[20] ganz gut erkennen, z. B. bei den Karen der Hohen Gaisl, die ohne Rücksicht auf die Täler rund um den ganzen Berg verteilt sind, bei dem gewaltigen Sorapis-Kar und dem noch grösseren Amphitheater von Klein-Fanis.[21] Und wenn schliesslich Helland,[22] Partsch,[23] Cvijič[24] und andere gezeigt haben, dass der weitaus grössere Prozentsatz von Karen in nördlicher und östlicher Exposition liegt, dass also die Kare in erster Linie klimatischen Bedingungen Folge leisten und nicht hydrographischen, so wird man wiederum, wie bei der Ausgestaltung, so auch bei der ursprünglichen Anlegung von der Tätigkeit fliessenden Wassers als hauptursächlichem Faktor abkommen.

---

19 Richter: a. a. O. p. 10. p. 21.

20 Vergl. die Abbildungen in H. Hess: Die Gletscher. Braunschweig 1904. p. 374.

21 In den Ampezzaner Dolomiten, nordöstlich von St. Cassian. Dieses Kar wird von A. von Böhm (Die alten Gletscher der Enns und Steyr, p. 528) als eines der grössten und zugleich schönsten der Ostalpen angeführt.

22 Om Botner og Säkkedale, p. 286. Unter 78 Karen sind 50 nach Nord, 19 nach Ost geöffnet (Norwegen).

23 Die Gletscher der Vorzeit in den Karpathen etc. p. 184/185. Von 35 Karen sind 19 nach Nord und Nordost, 13 nach Ost und Südost, 3 nach Süden und Westen geöffnet (Deutsche Mittelgebirge).

24 Das Rilagbirge und seine Vergletscherung. p. 247. Von 32 Karen sind 25 nach Nord, 7 nach Ost geöffnet (Bulgarien).

DIE EISZEIT ALS ERZEUGERIN DER HOCHGEBIRGSFORM.

Es ist nun aber gar nicht nötig, für die Entstehung aller Arten von Karen eine und dieselbe Grundbedingung anzunehmen. Letztere mag ganz verschieden gewesen sein, und hier kann man unbedenklich alle jene Theorien heranziehen, welche schon im Vorhergegangenen angeführt wurden, und kann, je nach dem Befund an Ort und Stelle, die eine oder andere zu Hilfe nehmen, um sich die erste Veranlassung für die Karbildung zu erklären. Darin muss aber eine genaue Unterscheidung gemacht werden: In praeglacialer Zeit mögen tektonische Vorgänge, petrographische Verschiedenheit der Gesteine, mechanische Tätigkeit des Wassers, hydrochemische und mechanische Verwitterung orographische Begünstigungsstellen geschaffen haben, die, wenn auch von verschiedenster Form und Entstehung, in glacialer Zeit die Firnansammlung ermöglichten. Nun erfolgte die Ausbildung der charakteristischen Karform; sie ist vornehmlich das Werk des Eises. Die praeglaciale Begünstigungsstelle wird umgewandelt und bleibt einzig ihrer Grösse nach für die des Kars massgebend. Auch die Art und Lagerung des Gesteins ist nicht ganz ohne Wirkung auf die Karform, sie ist aber nicht entscheidend. Die nach der Eiszeit wirksam werdenden Verwitterungskräfte bilden den Kartypus nicht fort, sondern zerstören ihn, und sie haben das mitunter bis zu einem solchen Grade getan, dass man sich wundern muss, noch so viele Kare in guterhaltenem

Zustand zu finden. Man darf hiebei nicht allein an petrographische Gesteinsverschiedenheit denken, sonden muss die grossen Unterschiede im Erhaltungszustand auf die Komplizierung des formengestaltenden Prozesses durch die viermalige Wiederkehr der Eiszeit[1] zurückführen. Stellt man sich vor, es wäre in den Alpen nur eine Eiszeit gewesen und an deren Stelle plötzlich ein warmes Klima getreten, so würde man zu dieser Zeit das ganze Hochgebirg nur aus Karen zusammengesetzt gesehen haben. Das Kar — so meine ich — ist das ursprüngliche einheitliche Formenprinzip des Hochgebirgs.

Nun hatten zweifellos auch in der Eiszeit die obersten Partien des Gebirges kein bedeutend abweichendes Aussehen von dem, das in unserem jetzigen Klima die noch vergletscherten Gebirgsgruppen, z. B. die Oetztaler, zeigen.[2] Wesentlich unterschieden sich nur die Täler, sie waren hoch hinauf mit mächtigen Eisströmen gefüllt. Keinesfalls aber handelte es sich in den Alpen um eine Eisbedeckung, wie sie heutzutage Grönland aufweist, sondern um ein Netz breiter Eisströme, die über Pässe und niedrige Vorberge hinüberflossen[3] und aus dem einzelne Inseln und kettenartig verbundene Gipfel herausragten, wie man das bei einem Nebelmeer beobachten kann, das etwa bis 1800 m die Täler rings erfüllt, während darüber die höheren Teile von den Sonnenstrahlen beleuchtet sind. Die geringe Abweichung ihres Aussehens in der Eiszeit geht schon

---

1 Ueber die Zahl der Eiszeiten sind die Akten wohl noch lange nicht geschlossen. Ich bin den neuesten Arbeiten von Penck und Brückner: „Die Alpen im Eiszeitalter". Gekrönte Preisschrift. Leipzig 1901/05 gefolgt, wonach für die Alpen vier Eiszeiten wahrscheinlich sind.

2 In diesem Sinne äusserte sich Richter wiederholt. Vergl. Kahre und Hochseen. p. 253/254 und Geomorph. Untersuchungen; speziell die Kapitel: Die Inseln im alpinen Eismeere und die Eisströme in den Alpentälern.

3 Der ungünstigen Abflussverhältnisse halber waren sie regelrecht aufgestaut.

daraus hervor, dass die heutigen grossen Firnfelder niemals an ihren Hochrändern Schliffspuren oder Abrundung zeigen, sondern scharfkantige Grate. In ihnen muss sich also das Formenprinzip der Hochgebirge auch bis heute unversehrt erhalten haben. Nun kann man aber die Firnmassen weder mit dem Blick durchdringen, noch auf irgend welche andere Weise das Aussehen ihres Untergrundes nur halbwegs genau bestimmen; ein einfaches Verfahren, wie das Ermitteln eines Seegrundes durch Loten, gibt es nicht. Immerhin erkennt man, schon unter Zuhilfenahme guter Karten[4] aus Form und Anordnung der Grate, die den höchsten Felssaum bilden, dass der Hintergrund der grossen Firnfelder aus aneinandergereihten Karen besteht. Neu, und nicht so einfach zu erklären ist aber hier ein Formelement, das auch Finsterwalder ein Rätsel nennt,[5] nämlich das Vorhandensein eines ausserordentlich grossen flachen oder muldenförmigen Mittelstücks, in welches die Umrandungskare einmünden und welches das eigentliche Sammelbecken für den Firn darstellt, durch den die abfliessende Gletscherzunge ernährt wird. Hierüber Aufklärung zu erhalten, wird nur auf Grund weiterer eingehender Untersuchung möglich sein.

Wenn die im Vorstehenden entwickelte Ansicht von der Karbildung richtig ist, so muss es gelingen, das Fehlen der Kare dort nachzuweisen, wo eine der beiden Bedingungen, Vergletscherung oder Begünstigungsstellen für die Firneinlagerung nicht vorhanden waren. Es wurde schon erwähnt, dass nirgends, wo eine Vergletscherung gefehlt hat, echte Kare anzutreffen sind; hierüber bedarf es keiner weiteren Worte. Man kann aber auch im heute noch verfirnten Hoch-

---

4 Vergl. die vom D. Oe. Alpenverein herausgegebenen Karten Oetzthal und Stubai, 1: 50 000, (4 Blatt 1893/97), Grossglocknergruppe, 1: 50 000 (1900), Venedigergruppe 1: 50 000 (1900), Vernagtferner 1: 10 000 (1897).

5 Der Vernagtferner. Wiss. Erg.-Hefte zur Zeitschrift d. D. Oe. Alpenvereins.

gebirg Stellen finden, wo trotz der jahrtausende langen Eiswirkung sich keine oder fast keine Neigung zu Karbildung beobachten lässt, während in gleicher Höhe an benachbarten Bergen typische Kare vorkommen: das sind die grossen, von sogenannten Plateaugletschern bedeckten Hochflächen, wie sie z. B. Hochkönig und Marmolata, weniger deutlich Dachstein und Zugspitze, aufweisen. Hier fehlten dem Eise auf seinem Untergrund die Nischen oder Vertiefungen, in welche es sich hätte einlagern können. Als breite Decke legte sich der Firn obenauf nieder und erzeugte keine Kare; seine Unterlage mochte im Ganzen etwas angegriffen werden, aber sie blieb ein Plateau. Dass grössere Plateaugletscher in den Alpen selten vorkommen, kann nicht Wunder nehmen bei den ausserordentlich vielen Möglichkeiten für die Bildung der genannten Begünstigungsstellen in den praeglacialen und interglacialen Zeiträumen. In Norwegen, einem Lande, das wahrscheinlich nie ganz unvergletschert war, bildet das Plateau die Regel. Wo aber, wie in den Ketten der Alpen, die Bedingungen für die Bildung von Karen vorhanden sind, da stellen sie sich sofort ein. Reihenweise treten sie an den Hängen auf mit den Böden in annähernd gleicher Höhe. Die erodierende Wirkung der in ihnen liegenden Gletscher und die Wandverwitterung begünstigen sich gegenseitig und die Kare werden grösser. Liegen nun Kare auf beiden Seiten einer Gebirgsfalte, so werden sich ihre Rückwände mehr und mehr einander nähern: aus der ursprünglich runden Wasserscheide entsteht ein schmaler Grat und die Hochgebirgsform mit den zugeschärften Wasserscheiden tritt an Stelle der Mittelgebirgsform. Allerdings bedarf es hiezu einer grösseren Anzahl Kare, welche gemeinsame oder benachbarte Rückwände haben. Einige wenige und örtlich entfernte bewirken keine Hochgebirgsform; schwerlich wird man z. B. den Böhmerwald der paar Nischen wegen, in welchen seine Seen liegen, ein Hochgebirge nennen,

wohl aber die Hohe Tatra mit ihren zahlreichen „Meeraugen". In weiterer Schlussfolgerung aus dem Gesagten gelangt man zu der Annahme: Alle Gebirge, welche Hochgebirgsformen besitzen, gleichgiltig ob heute über oder unter der Grenze des ewigen Schnees gelegen, verdanken diese der Eiszeit. Keinesfalls haben die in der Gegenwart wirksamen Verwitterungskräfte derartige Formen geschaffen; im Gegenteil, soweit sie nicht verfirnt sind, werden diese Zeugen eines anderen, entschwundenen Klimas von ihnen angegriffen und zerstört wie etwas, das in die Neuzeit nicht hereinpasst. Ausser den Alpen „zeigen auch die Pyrenäen sich in diesem erborgten Schmuck von Formen einer verflossenen Periode; nicht minder der toskanische Appenin, der ohne seine mehr als 40 Hochseen, seine Kare und Seewände ein Mittelgebirge gewöhnlicher Art wäre. Hier hat man den Eindruck einer fremdartigen Form in ähnlicher Weise, wie man bei den Schneegruben im Riesengebirge oder dem Feldsee im Schwarzwald den Eindruck hat, ein fremdes Element vor sich zu sehen, das sich in den sonst herrschenden Stil der Landschaft schlecht einfügt. Desgleichen haben die Hochgebirgsformen des Rilagebirges, des südlichen siebenbürgischen Grenzgebirges (transsilvanische Alpen und Retjezat), wahrscheinlich auch die spanische Sierra Nevada ihre Entstehung nur der Eiszeit zu verdanken".[6] Alle diese Gebirge hätten ohne die Eiszeit Mittelgebirgsformen wie die mehr als 4000 m Höhe erreichenden östlichen Rocky Mountains.[7]

---

[6] Zit. aus Richter: Geomorph. Untersuchungen. p. 75.

[7] Das Felsengebirge ist zweifellos auch vergletschert gewesen; die Eiszeit liegt dort aber so weit zurück, dass ihre Spuren ziemlich verloren gingen. Vergl. H. Meyer: Die Eiszeit in den Tropen. Verh. der Gesellsch. deutscher Naturforscher und Aerzte. 1904.

TOPOGRAPHISCHE KARTEN DES HOCHGEBIRGS.

Die grössere Sicherheit, die in der Erkenntnis der morphologischen Eigentümlichkeiten des Hochgebirges Platz gegriffen hat, konnte auch ihre Wirkung auf die Kartographie nicht verfehlen. Ich will an dieser Stelle auf das an sich bewundernswerte Fortschreiten in der Technik der Gebirgszeichnung[1] nur soweit eingehen, als dies für die Kare in Betracht kommt. Es kann sich dabei nur um Karten mit grösserem Massstab handeln; schon in 1 : 100 000 sind Kare, die nicht bedeutende Dimensionen besitzen, nicht gut wiederzugeben. Die meisten Forscher, die sich mit dem Karproblem befassten, haben ihren Schriften ausser Abbildungen und Profilen auch topographische Skizzen oder Karten beigefügt. Schon Partsch hat, um die eigenartige Form der Schneegruben im Riesengebirg allgemein verständlich zu machen, diese in grösserem Masstab (1 : 10 000) aufgenommen,[2] ebenso das Quellgebiet der Lomnitz in 1 : 20 000. Diesem Beispiele folgten andere mit einer Reihe instruktiver Karaufnahmen, wobei zumeist von Isohypsen Gebrauch gemacht wurde. Ich beschränke mich darauf, nur einige der Arbeiten zu nennen. So die Aufnahmen von Regelmann[3] im Schwarzwald, von de Mar-

1 Hierüber gibt Näheres: E. Oberhummer: Die Entwicklung der Alpenkarten im 19. Jahrhundert. Zeitschrift des D. Oe. Alpenvereins XXXII 1902 und XXXIII 1903.

2 In „Die Gletscher der Vorzeit", vervollkommnet in „Die Vergletscherung des Riesengebirgs zur Eiszeit". Forsch. z. deutsch. Landes- und Volkskunde VIII. Stuttgart 1894.

3 In „Ueber Vergletsch. u. Bergformen im nördl. Schwarzwald". Württ. Jahrb. f. Stat. u. Landeskunde 1895. Stuttgart 1896.

tonne[4] in den transsilvanischen Alpen, von Cvijić[5] im Rilagebirge. Letzterer führte für Karten grösseren Massstabs (1:150 000) eine eigene Signatur für Kare ein. Aber auch auf den ganze Länder umfassenden topographischen Spezialkarten bemerkt man in neuerer Zeit den Fortschritt. So war die bisher vom k. u. k. milit.-geogr. Institut ausgegebene österr. Spezialkarte 1:75 000 dem besten Kartenkenner oft schwerverständlich; die neueste, seit 1896 in Angriff genommene Aufnahme liefert jetzt Karten, die an Präzision nichts zu wünschen übrig lassen. Sie gestatten auf den ersten Blick die Unterscheidung von Hoch- und Mittelgebirgsformen, Kare und Gletscher sind in klar verständlicher Weise wieder gegeben. Besondere Erwähnung verdienen an dieser Stelle die vom D. Oe. Alpenverein veröffentlichten Kartenwerke, namentlich die neuesten, die bezüglich Naturtreue und Plastik mustergültig genannt werden müssen; man beachte die beiden Langkofelkare auf der Karte der Langkofel- und Sella-Gruppe, 1:25 000 (1904). Eine schöne, nur in Höhenschichtmanier ausgeführte Karte, die das Verständnis der Karbildung in der Hohen Tatra wesentlich unterstützt, stammt von Dr. A. Otto. Wie deutlich man derartige morphologische Erscheinungen auch ohne besondere Hilfsmittel, wie Anwendung von Farben, zum Ausdruck bringen kann, geht aus einem Vergleich der Kartreppe des Val d'Avio hervor; sie findet sich wenig charakteristisch auf der Alpenvereinskarte der Adamello-Gruppe in 1:50 000, dagegen ausserordentlich klar in Salomon's Aufsatz: „Können Gletscher Kare erodieren?“[6] in 1:25 000, in beiden Fällen von derselben Hand[7] gezeichnet.

---

4 In „Le levé topographique des cirques de Găuri et Gălcescu“. Bukarest 1900.

5 In „Das Rilagebirge“. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde. XXXIII. Berlin 1898.

6 Neues Jahrbuch f. Mineralogie. II. 1900.

7 Von dem Kartographen L. Aegerter, von dem auch die oben genannte Langkofelkarte stammt.

MORPHOLOGISCHE BETRACHTUNGEN IN DEN AMPEZZANER DOLOMITEN.

Wenn wir den Versuch machen, unsere Ergebnisse in morphologischer Beziehung auf die Ampezzaner Dolomiten anzuwenden, so stellt sich uns eine Schwierigkeit besonderer Art entgegen, die es auf den ersten Augenblick undenkbar erscheinen lässt, in dieser schroffen, zerrissenen Bergwelt auf ein einheitliches Formenprinzip zurückzugreifen. Die Schwierigkeit beruht auf dem ruinenhaften Zustand der Dolomiten. All diese scharfen Zacken und kühnen Gipfelgebilde, die das Entzücken des Wanderers in gleichem Masse erregen, wie sie die Tatkraft des Bergsteigers herausfordern, sie sind dem in ferne Zeiträume unseres Erdballs zurückschauenden Auge des Naturforschers nichts als die letzten Ueberreste mächtiger, übereinandergelagerter Kalktafeln. Die Ampezzaner Dolomiten setzen sich zum grössten Teil aus Sedimenten der Triasformation[1] zusammen;

1 Die Reihenfolge der alpinen Triassedimente ist in Südtirol (nach Blaas):

Grenzdolomit
Kössener Mergel

Hauptdolomit | Dachsteindolomit

Raibler Schichten u. Dolomit

Schlerndolomit und Marmolatakalk
Cassianer- und Wengener Schichten

Buchensteinschichten u. -Dolomit
Mendola-Dolomit
Unterer Muschelkalk

Werfener Schichten.

zweifellos befanden sich über denselben in vortertiärer Zeit auch mächtige jüngere Ablagerugen, wie aus den noch vielfach sich findenden Lias- und Kreideresten gefolgert werden kann. Als im Tertiär der gebirgsbildende Prozess einsetzte und die Aufwölbung der Alpen erfolgte, zerbrachen die Kalktafeln zu einzelnen Schollen und nahmen die verschiedenartigste Lagerung an. Die lange Zeit, die verstrich, bis das eiszeitliche Klima herannahte, schuf das ausgeprägte hydrographische Netz des Gebirges, die Wassererosion erzeugte ihre charakteristischen Formen und die Alpen besassen Mittelgebirgstypus. Mit dem Hereinbrechen der Eiszeit änderte sich das vollständig. Tief sank die Linie des ewigen Schnees unter die Gipfel hinab, mindestens 1200—1300 m unter die heutige Schneegrenze, die Täler erfüllten sich mit Eisströmen, oft von mehr als 1000 m Dicke. Als die erste Eiszeit vorüber und ein wärmeres Klima ins Land gezogen war, boten die Alpen einen ganz anderen Anblick. Die Täler waren in ihrem Aussehen verändert; sie erschienen ausgehobelt und vertieft; mächtige Schottermassen erfüllten ihren Grund. Im Vorland hatten sich, von Moränenwällen eingeschlossen, zahlreiche Seen, mitunter von beträchtlicher Grösse, gebildet. Vor allem aber die obersten Teile des Gebirges gewährten einen neuartigen Anblick: die einst sanften Formen waren wildzerrissenen Kämmen mit trotzigen Gipfeln dazwischen gewichen; massenhaft hatten sich Kare nebeneinander in die Bergflanken eingesenkt und nichts als scharfe Grate zwischen sich gelassen; je nach ihrer Entwicklungsmöglichkeit waren sie von verschiedener Grösse und bald mehr, bald minder ausgeprägter Form. Die Schneebedeckung wird während der ganzen Interglazialzeit nicht völlig gefehlt, und das eine und andere Firnfeld das Landschaftsbild vervollständigt haben.

Die Alpen waren ein Hochgebirge geworden. Die geschichteten Kalke, aus denen die

Ampezzaner Dolomiten vornehmlich zusammengesetzt sind, sind ein Gestein, das von Verwitterungserscheinungen jeglicher Art mit einer gewissen Leichtigkeit angegriffen wird, ja selbst völliger Zerstörung durch dieselben in verhältnismässig kurzer Zeit anheimfällt. So kann man sich gut vorstellen, dass in der Periode, die der ersten Vergletscherung folgte, eine bedeutende Veränderung jener Formen vor sich ging, welche die Eiszeit geschaffen, und dass das, was daraus entstand, nur Trümmer einer Landschaft von ursprünglich einheitlichem Stil sind. Vor allem der Haupt-(Dachstein-)Dolomit, aus dem sich die stolzen und vielbewunderten Hochgipfel der Sextener und Pragser Berge, die Tofana, Cadinspitzen, Marmarole, Cristallo, Antelao, Sorapiss, Pelmo, Civetta aufbauen, zeichnet sich aus durch eine ausserordentliche Zerklüftbarkeit,[2] bei der die Ebenen minimaler Kohäsion einerseits den Schichtflächen parallel sind, andererseits auf denselben senkrecht stehen. Dies ist der wesentlichste Faktor in der Erzeugung jener charakteristischen, dem Menschen in seiner Kleinheit so imponierenden Bergformen, wie sie in den Drei Zinnen und dem benachbarten Paternkogl zur grossartigsten Ausbildung gelangt sind. So sind auch die Kare, welche einst in erster Linie die Aufhebung der Mittelgebirgsform bewirkt haben, zumeist ein Opfer der verwitternden Kräfte geworden, und wenige von ihnen hat der Zahn der Zeit in den Ampezzaner Bergen in gut erhaltenem Zustand gelassen.

Bedenkt man die weitere Umgestaltung eines die Formen so schlecht bewahrenden Gesteins wie des Dachsteindolomits, die durch die viermalige Wiederkehr der Glacial- und die dreimalige der Interglacial-Periode eine ausserordentlich intensive

---

2 Vergl. die Anmerkung 8 auf p. 20.

wurde, so wird man darüber nicht mehr staunen, dass die alten Kare vielfach nicht einmal mehr dem Grundriss nach festgestellt werden können. Ein Beispiel, wo dies eben noch gelingt, bieten die „Drei Zinnen", welche einst eine zusammenhängende Wand und mit dem Paternkogl, Toblinger Knoten und dem Schwabenkopf die steilen Rücklehnen eines nach Westen geöffneten Kars von der Grösse des jetzigen Sorapis-Zirkus gebildet haben mögen. Freilich, schon vor der letzten Eiszeit muss dasselbe zerstört gewesen sein: Da, wo der Toblinger Riedl jetzt die Scheide gegen den jenseits gelegenen Karboden der Böden-Alp bildet, müsste sonst viel mehr Schutt liegen, als heutigen Tages dort sichtbar ist. Auch der kolossale Massen-Defekt, den die alte Karsohle durch die Erosion der schwarzen Rienz (Katzenleiter) erlitten hat, wird unter dieser Annahme verständlich. Einen eigenartigen Typus bilden die Kare mit eingefressenen oder gar nicht erkennbaren Rückwänden, die man besonders bei den Sextener Bergen und den Cadinspitzen[3] häufig antrifft. Hier wird man nicht fehlgehen, ihre praeglaciale Veranlagung in hydrographischen Verhältnissen zu suchen, d. h. anzunehmen, dass der Firn sich in vorhanden gewesene Wasserrinnen einlagerte. Dadurch war der Wandverwitterung die Richtung, in der sie angreifen sollte, vorgezeichnet, sie musste immer tiefer nach hinten einschneiden und so verhindern, dass zwischen zwei mit der Rückseite gegeneinander gelegenen Karen eine Scheidewand erhalten blieb. Ebenfalls einen Hinweis für ihre Entstehung und zwar nach der tektonischen Richtung hin geben die ihrer vielen interessanten Verhältnisse wegen schon ausführlich beschriebenen Kare der Hohen Gaisl. Dort findet man, die ganze Ostflanke dieses Bergstockes durchstreichend, eine Umbiegung

[3] Vergl. Anmerkung 13 p. 34.

der Schichten[4] vor, die bis zur Ueberkippung führte und in unmittelbarem Zusammenhang steht mit einer Verwerfung, die vom Stollagraben über die Plätzwiese nach dem Seelandtälchen führt. Die Schlerndolomitmassen des Dürrensteins wurden gehoben und übten von unten seitlich einen Druck auf die Schichten des Dachsteindolomits der Hohen Gaisl aus. Eine tektonische Begünstigungsstelle war dadurch gegeben. (Fig. 3.)

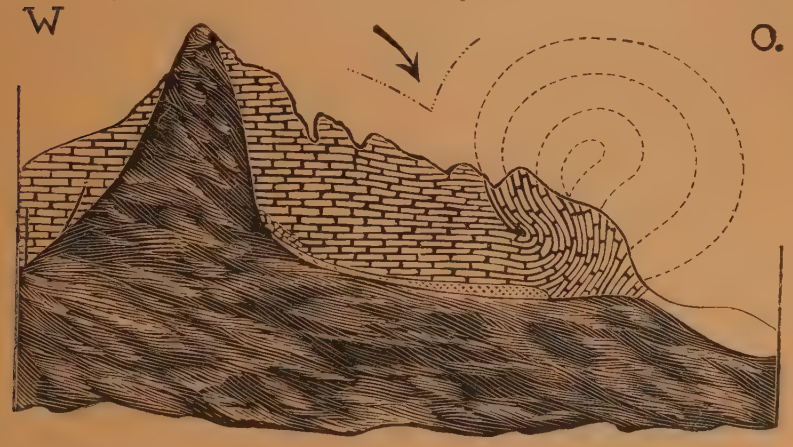


Fig. 3. Längsschnitt durch das Ost-Kar der Hohen Gaisl, 1 : 25 000, Moräne punktiert.

4 C. Diener berichtet in der „Ersteigung der Croda rossa von der Ostseite" (Oesterr. Alpenzeitung 1891): Von dem Hauptkamme der Croda rossa lösen sich gegen Osten zwei Felsgrate ab, die durch die eigentümlichen Knickungen ihrer blutrot gefärbten Schichtbänke schon aus bedeutender Entfernung Aufmerksamkeit erregen.

MODELL DER HOHEN GAISL.

Die Schwierigkeit des Erkennens grosser morphologischer Züge auf der Erdoberfläche beruht für den Menschen in seiner Kleinheit, in der Unmöglicheit, grosse Gebiete mit jener Schärfe zu übersehen, die der kritische Blick braucht, in der verzerrenden und verkürzenden Wirkung der Perspektive, schliesslich in dem Umstande, dass selbst von hohen Gipfeln aus das Auge nicht so eigentlich auf das umliegende Gebirge herabsieht, dass vielmehr der Blick von der Seite darauf gerichtet sein wird. Ballonfahrten, wie sie in den letzten Jahren durch Spelterini in den Alpen versucht wurden, mögen hier wohl Besserung schaffen; aber es gibt auch ohne dem eine Möglichkeit, unter Vermeidung aller genannten Uebelstände die morphologische Charakteristik einer ganzen Gegend leichter verständlich werden zu lassen: Was dem Petrographen das Mikroskop, das ist dem Topographen das Modell. Allerdings ist die Herstellung eines solchen keine einfache Sache, wenn es sich um die Wiedergabe eines schwer besteigbaren Dolomitgipfels handelt, und stellt für die zunächst notwendige Detailaufnahme besondere Anforderungen an die touristische Fähigkeit des betreffenden Kartographen.

Ich habe im Sommer 1904 während eines sechswöchigen Aufenthalts auf der Plätzwiese ein Ge-

biet von 68 qkm mit der Hohen Gaisl als Mittelpunkt unter Benützung der vorhandenen Karten aufgenommen, bezw. revidiert, wodurch die Unterlage für die Anfertigung eines der Natur möglichst genau entsprechenden Modells[1] geschaffen war. Durch barometrische Höhenmessung wurden in den oberhalb 2000 m gelegenen Bergpartien etwa 200 Punkte, oft unter grossen Schwierigkeiten bestimmt, was bei steter Kontrolle mit der Natur zur Konstruktion der Isohypsen führte. Als Massstab wurde, um das Modell unzerteilt transportieren zu können, 1 : 25 000 gewählt, die Schichten von 100 zu 100 m aus Holz ausgeschnitten und nach Fertigstellung die Kolorierung in den Farben der Natur vorgenommen. Mit Rücksicht auf den Zweck wurden ganz kleine Details, die ohne Bedeutung für die grossen morphologischen Züge der Berge sind, sämtlich weggelassen. Das Modell erfüllt denn auch vollständig, was von ihm erwartet wurde. Es zeigt auf einen einzigen Blick den kühnen Aufbau der Formen des Hochgebirgs, die sanften bewaldeten Hänge der tieferen Lagen, es zeigt vor allem unterhalb der Schneegrenze die mannigfachen Erosionswirkungen des fliessenden, oberhalb der Vegetation aber die ganz anders gearteten des festen Wassers. Man erkennt, dass die Hohe Gaisl ihre Form lediglich der rings um ihren höchsten Punkt herum erfolgten Einsenkung von Karen verdankt. Der ganze obere Berg besteht eigentlich nur aus den stehengebliebenen Rippen. Wenn man der in Fig. 1 abgebildeten Kugelhaube ringsherum Kar-Nischen eindrückt, so erhält man schematisch eine Vorstellung von dem Aussehen dieses Dolomitgipfels und von der Art und Weise, wie die Natur aus den Mittelgebirgen ihre Hochgebirge schafft. Nur wer den höchsten Gipfel der Gaisl erstiegen und ruhigen Blicks an ihren furchtbaren Steilwänden hinab

---

1 Das Modell befindet sich im mineralog.-geolog. Institut der Universität Erlangen.

in die schwindelnden Tiefen der Kare blicken kann,[2] wird auch in freier Natur von den Gesetzen der Formengestaltung im Hochgebirge den richtigen Begriff erhalten. Dem kundigen Auge aber offenbart sich schon in dem Modell die ganze Entstehungsgeschichte der Hohen Gaisl, deren edle Konturen und unnahbar scheinenden Felswände allsommerlich von Hunderten immer und immer wieder angestaunt werden, die auf der Terrasse des Hotel Dürrenstein die erhabene Schönheit des Hochgebirgs geniessen.

---

2 Die grossen Schwierigkeiten, welche die Hohe Gaisl auch dem erfahrenen Bergsteiger entgegensetzt, werden nach dem, was über die Zerklüftbarkeit und ausserordentliche Verwitterungsfähigkeit des Gesteins bereits gesagt ist, wohl begreiflich sein. Der Gipfelgrat, einzelne hervorragende Punkte der Seitengrate, selbst die eine und andere Spitze von geringerer Höhe konnten, obwohl ich mich wochenlang an den Gesteinscharakter gewöhnt hatte, meist nur nach wiederholten Versuchen erreicht werden. Ich bin Herrn k. k. Leutnant Watzlawick, durch dessen aufopferungsvolle Teilnahme an den anstrengenden und nicht selten gefährlichen Hochtouren es möglich war, in kurzer Zeit ohne Führer alle wichtigen Punkte im Croda-rossa-Massiv zu ersteigen, hiefür zu besonderem Dank verpflichtet.

DIE WICHTIGSTE LITERATUR UEBER DAS KARPROBLEM.

A. Baltzer: Zur Entstehung der Alpen-Seen. Eclog. Geol. Helvetiae. Lausanne 1897.

S. Blumer: Zur Entstehung der glarnerischen Alpenseen. Eclogae geol. Helvetiae. Lausanne 1902. p. 203—244.

A. von Böhm: Bodengestaltende Wirkungen der Eiszeit. Schriften zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse. 1892. XXXI. p. 477—511.

A. von Böhm: Die Hochseen der Ostalpen. Mitt. der Geograph. Gesellschaft. Wien 1886. p. 625—647.

A. von Böhm: Die alten Gletscher der Enns und Steyr. Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt. XXXV. 3. Wien 1885. (Speziell das VII. Kapitel: Kare und Seen. p. 523—543.)

Th. G. Bonney: On Mr. Helland's theory of the formation of Cirques. Geological-Magazine, decade II vol. IV 1877. p. 273 bis 277.

Th. G. Bonney: On the Formation of Cirques, in dem Aufsatz: Lakes of the northeastern Alps. Quart. Journ. of the geolog. soc. of London XXIX 1873. p. 387.

Th. G. Bonney: On the formation of Cirques and their bearing upon theories attributing the formation of Alpine valleys mainly to the action of glaciers. Dazu Bemerkung von Geikie. — Quarterly Journal of the geolog. soc. of London XXVII 1871. p. 312—324.

Th. G. Bonney: On a cirque in the Syenite-Hils of Skye. Geological Magazine, decade I vol VIII 1871. p. 535—540.

J. Cvijić: L'époque glaciaire dans la Péninsule des Balkans. Annales de Géogr. IX. 1900. p. 359—372.

J. Cvijić: Das Rilagebirge und seine ehemalige Vergletscherung. Zeitschrift der Gesellsch. f. Erdkunde. Berlin. XXXIII. 1898. p. 201—253 (speziell das III. Kapitel: Kare und Seen).

Osmond Fisher: On Cirques and Taluses, dazu Entgegnung Bonney's. Geological Magazine, decade I vol. IX 1872. p. 10—12 und p. 93.

F. Frech: Die Gebirgsformen im südwestlichen Kärnten und ihre Entstehung. Zeitschrift der Gesellsch. für Erdkunde. Berlin. XXVII. 1892 (speziell das IV. Kapitel: Die Kare).

E. Fugger: Salzburgs Seen. Mitt. der Gesellsch. für Salzburger Landeskunde. XXX—XLIII. 1890—1903.

E. Fugger: Hochseen. Mitt. der Geograph. Gesellsch. Wien 1896. (Referat auch in Geograph. Zeitschr. 1896.)

Gastaldi: On the effects of glacier-erosion in Alpine valleys. Anschliessend Drew's Beobachtungen über Zirkusbildungen im Himalaya. Quart. Journ. of the geol. soc. of London. XXIX. 1873. p. 396—401.

A. Geistbeck: Die Seen der deutschen Alpen. Mitt. d. Ver. für Erdkunde. Leipzig 1884. (Auch einzeln.)

G. Gerland: Die Gletscherspuren der Vogesen. Verh. d. 4. deutsch. Geogr.-Tages zu München. Berlin 1884. p. 92—122.

Goodchild: On the origin of coums. Geological Magazine, decade II vol. II 1875. p. 486—497.

Amund Helland: Ueber die Vergletscherung der Fär Oer, sowie der Shetland- und Orkney-Inseln. Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesellsch. XXXI. Berlin 1879. p. 716—755.

Amund Helland: On Indsöerne i Italien og Fjordene i Norge. Archiv for Mathemat. u. Naturvid. II. 1877. Christiania.

Amund Helland: On the ice fjords of North-Greenland, and on the formation of fjords, lakes and cirques in Norway and Greenland. Quart. Journ. of the geol. soc. of London. XXXIII. 1877. p. 142—176.

Amund Helland: Om Botner og Saekkedale samt deres Betydning for Theorier om Dalenes Dannelse. Geologiska Förenings Förhandlingar II Nr. 9, Stockholm 1875.

Amund Helland: Die glaciale Bildung der Fjorde und Alpenseen in Norwegen. Poggendorff's Annalen der Phys. u. Chem. 146. Leipzig 1872. p. 538—562.

H. Hergesell und **R. Langenbeck:** Die Seen der Hochvogesen. Geograph. Abhandl. aus den Reichslanden Elsass-Lothr. I. 1892 p. 121—184.

Pierre Lory: Les cirques de Montagne. Revue des Alpes dauphinoises, Grénoble 1901 (auch in Trav. du Labor. de Géol. de la Faculté des Sc. de l'Univ. de Grénoble. Vol. VI, 1, 1902, p. 75—84.

E. de Martonne: Sur la formation des cirques. Annales de Géogr. X. Paris 1901.

E. de Martonne: De la période glaciaire dans les Karpates meridionales. Bull. Soc. Géol. XXVIII. 1900. p. 275—319.

E. de Martonne: Le levé topographique des cirques de Găuri et Gălcescu (Massiv du Parîngu). Buletinul societatei inginerilor si industriaşilor de mine din România; Volumul IV Fascicola I—II. Bucuresci (Bukarest) 1900. p. 47—86.

Christian März: Der Seenkessel der Soiern, ein Karwendelkar. Wiss. Veröff. d. Ver. f. Erdkunde. Leipzig. VI. Band. 1904. p. 213–314.

Gottfr. Merzbacher: Aus den Hochregionen des Kaukasus. Leipzig. 1901. I. p. 52–54.

J. Partsch: Die Gletscher der Vorzeit in den Karpathen und den Mittelgebirgen Deutschlands. Breslau 1882.

A. Penck: Gletscherstudien im Sonnblickgebiete. Zeitschr. d. D. Oe. Alpenvereins XXVIII. Graz 1897. p. 52—71.

A. Penck: Morphologie der Erdoberfläche. II. Teil. Stuttgart 1894. p. 305–313.

A. Penck: Geographische Wirkungen der Eiszeit. Verhandl. des 4. deutsch. Geographen-Tages zu München 1884. Berlin 1884. p. 66—84.

A. Penck: Die Eiszeit in den Pyrenäen. Mitt. d. Ver. f. Erdkunde. Leipzig 1883.

A. Penck: Norwegens Oberfläche. Ausland, 55. Jahrgang. Stuttgart 1882. p. 190—194.

A. C. Ramsay: The physikal geology and geography of Great Britain. London 1874. p. 285, 286.

A. C. Ramsay: On the Glacial Origin of certains Lakes in Switzerland, the Black Forest, Great Britain, Sweden etc. Quart. journ. of the geol. soc. of London XVIII 1862. p. 185—204.

C. Regelmann: Ueber Vergletscherungen und Bergformen im nördl. Schwarzwald. Ein Beitrag zur Topographie der diluvialen Gletscherlandschaft. Württ. Jahrbücher f. Statistik und Landeskunde 1895. p. 183—206. Stuttgart 1896.

C. Regelmann: Der Elbachsee am Kniebis ein Gletscherzirkus. Aus d. Schwarzwald, Blätter d. Württ. Schwarzwald-Ver. 1895. p. 59 ff.

E. Richter: Kahre und Hochseeen. Verh. d. Gesellsch. deutscher Naturf. u. Aerzte. 66. Vers. Wien 1894. II, 1. Leipzig 1895. p. 252—256.

E. Richter: Geomorphologische Beobachtungen aus Norwegen. Sitz.-Ber. d. k. k. Akad. d. Wissensch. Math.-nat. Kl CV, 1, Wien 1896.

E. Richter: Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen. 132. Erg.-Heft zu Petermann's Mitteil. Gotha 1900.

F. v. Richthofen: Führer für Forschungsreisende. Berlin 1886. p. 255—259.

F. A. Rothpletz: Geologie des Karwendelgebirges. Zeitschrift des D. Oe. Alpenvereins. XIX. München 1888.

W. Salomon: Können Gletscher in anstehendem Fels Kare etc. erodieren? Neues Jahrb. f. Mineralogie etc. Stuttgart 1900. II. Band. p. 117—139.

A. Sauer: Zirkusseen im mittleren Schwarzwald als Zeugen ehemaliger Vergletscherung desselben. Globus LXV. 1894. p. 201—206.

Fr. Schafarzik: Die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Borlova und Pojána-Mörul (Hochkarpathen). Budapest 1899.

G. Steinmann: Die Spuren der letzten Eiszeit im hohen Schwarzwalde. Festprogramm, Freiburg i. B. 1896. p. 189—226.

A. Tornquist: Die im Jahre 1900 aufgedeckten Glacialerscheinungen am Schwarzen See. Mitt. d. geol. Landesanst. v. Elsass-Lothringen. V. Strassburg 1901.

P. Wagner: Die Seen des Böhmerwaldes; zugleich ein Beitrag zur Lösung dss Karproblems. Dissert. Leipzig 1897 (auch in: Wiss. Veröff. d. Ver. f. Erdkunde. Leipzig 1899.)

H. Wallmann: Das Kar. Zeitschrift des deutschen Alpenvereins. I. München 1869/70. p. 305—309.

L. van Werveke: Neue Beobachtungen an den Seen der Hochvogesen. Mitt. d. geol. Landesanst. v. Elsass-Lothringen. III. Strassburg 1892.

Lebens- und Bildungsgang.

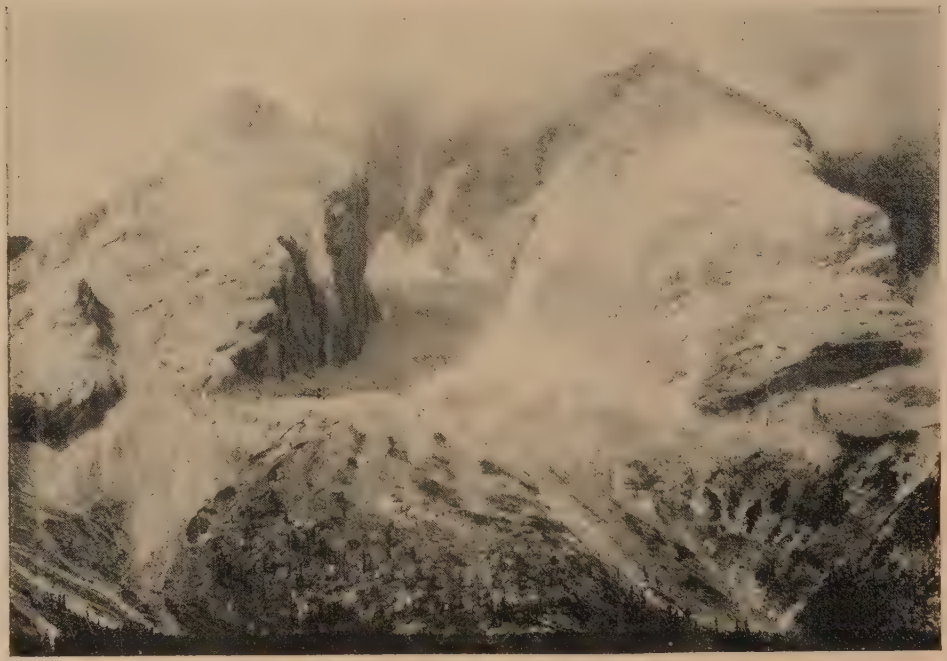
Ich bin geboren am 18. Juni 1875 zu Berlin als Sohn des Buchdruckereibesitzers und Verlagsbuchhändlers Max Richard Schulz und dessen Ehefrau Margarethe, geb. Ahrenstorff. Ich bin protestantischer Konfession und durch Abstammung preussischer Staatsangehörigkeit. Im dritten Lebensjahre übersiedelte ich mit meinen Eltern nach Bamberg, wo ich erzogen wurde und bis zum Absolutorium des humanistischen Gymnasiums verblieb (1895). Ich wandte mich hierauf dem Studium der Ingenieurwissenschaften zu und bezog die technische Hochschule zu München bis zum Ende des Sommersemesters 1899. Daselbst hörte ich als Studierender der mechanisch-technischen Abteilung die Vorlesungen der Herren Professoren: v. Braunmühl, Burmester, Dyck, Ebert, Finsterwalder, Fischer, Föppl, v. Grove, v. Hoyer, v. Lossow, v. Miller, Schröter, Sohncke, Ultsch, E. Voit. — Nach kurzer Praktikantenzeit in den Münchener städtischen Elektrizitätswerken trat ich in Privatdienste und war vier Jahre lang als Ingenieur für Maschinenbau tätig. Eine Reihe von Hochgebirgstouren in dieser Zeit wurden mir Veranlassung zu eingehenderem Studium der Naturwissenschaften; namentlich wendete ich, angeregt durch Prof. Finsterwalders Arbeiten, mein Interesse der Gletscherforschung zu. Um mich auf dem naturwissenschaftlichen Gebiete weiter auszubilden, bezog ich im Wintersemester 1903 die Universität zu Erlangen, woselbst ich drei Semester lang die Vorlesungen der Herren Professoren: O. Fischer, Gordan, Lenk, Pechuel-Loesche, G. C. Schmitt, Solereder, Wehnelt hörte.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, an dieser Stelle allen meinen akademischen Lehrern, die stets in entgegenkommendster Weise meine Studien unterstützten, den aufrichtigsten Dank auszusprechen, insbesondere Herrn Professor Pechuel-Loesche, der mich mit der Untersuchung der in vorliegender Schrift behandelten Kare der „Hohen Gaisl“ betraute.

Erlangen, März 1905.

Franz Schulz.

Taf. II. Die Hohe Gaisl, 3148 m mit Ost- und Nordost-Kar, vom Gipfel des Dürrenstein (2840 m).



Taf. III. Blick in das Ost-Kar an der Hohen Gaisl.

Taf. IV. Blick in das Norost-Kar an der Hohen Gaisl.

Taf. V. Wirkung des Spaltenfrosts im „zerklüftbaren“ Schlerndolomit des Monte Nuvolau, 2578 m.

Taf. VI. **Charakteristische Formen der Ampezzaner Dolomiten: Die Drei Zinnen, 2974, 3003, 2881 m.**

Taf. VII. Ckarakteristische Formen der Ampezzaner Dolomiten: Der Paternkogel, 2744 m.

Taf. VIII. Ein Kar-See der Hohen Tatra: Das Meerauge, 1584 m.